

Sintesis Dan Sifat Fotokatalisis Komposit $BaFe_{12}O_{19}/ZnO$ Terhadap Degradasi Pewarna Rhodamin B

Nandang Mufti, Youhana, Markus Diantoro
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang 5 Malang,
E-mail: nandang.mufti.fmipa@um.ac.id

ABSTRAK: Tujuan pada penelitian ini adalah untuk mensintesis komposit $BaFe_{12}O_{19}/ZnO$ dan pemanfaatannya sebagai bahan fotokatalisis untuk mendegradasi zat pewarna rhodamin B. Pada sintesis Barium heksaferit ($BaFe_{12}O_{19}$) digunakan metode reaksi padatan sedangkan sintesis ZnO dilakukan dengan metode kopresipitasi pada larutan yang mengandung Barium heksaferit yang kemudian dilakukan proses pemanasan untuk membentuk komposit $BaFe_{12}O_{19}/ZnO$. Komposit yang dihasilkan dianalisis dengan SEM/EDAX, Difraksi sinar-X (XRD). Kemudian dilakukan uji sifat fotokatalisisnya pada zat pewarna rhodamin B dengan UV-Vis spectrometer. Hasil XRD menunjukkan bahwa komposit $BaFe_{12}O_{19}/ZnO$ telah berhasil disintesis ditunjukkan oleh pola difraksi yang karakteristik untuk $BaFe_{12}O_{19}$ dan ZnO . Struktur Kristal barium heksaferit adalah struktur kristalnya adalah heksagonal dengan parameter kisi a, b sekitar 5,87 Å dan c = 2,12 Å dan *space group* $P6_3/mmc$ (194). Sedangkan struktur kristal ZnO adalah *hexagonal* dengan parameter kisi a, b = 3,22 Å dan c = 5,22 Å *space group* $P6_3mc$ (No. 186) yang merupakan fase wurtzite. Hasil analisis EDAX menunjukkan bahwa perbandingan persentase atom Zn dan Ba pada komposit ini adalah 1,43; 2,5; 3,13; dan 4,49. Morphologi hasil photo SEM menunjukkan bahwa butir barium heksaferit berbentuk flat heksagonal dalam skala mikron yang ditutupi oleh ZnO yang berukuran nano. Semakin besar komposisi Zn maka ukuran butirnya semakin kecil. Hasil uji fotokatalisis menunjukkan komposit $BaFe_{12}O_{19}/ZnO$ dengan perbandingan Zn/Ba = 4,49 mempunyai hasil yang paling optimum dalam mendegradasi pewarna Rhodamin B.

Kata Kunci: Komposit $BaFe_{12}O_{19}/ZnO$, Fotokatalisis, Rhodamin B.

PENDAHULUAN

Limbah pewarna tekstil mengandung zat yang dapat mencemari lingkungan yang dapat mengganggu kestabilan ekosistem. Pewarna tekstil sulit untuk terurai di air karena umumnya adalah bahan sintesis (Dyes) dengan struktur molekul kompleks dan stabil. Pewarna tekstil umumnya bersifat karsinogenik dan mutagenik pada manusia sehingga dapat menimbulkan gangguan kesehatan seperti gatal-gatal iritasi pada saluran nafas, kulit, mata, gangguan saluran pencernaan dsb. Oleh karena limbah pewarna tekstil harus diproses terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan supaya zat kontaminan yang terkandung didalamnya dapat diminimalisir. Salah satu jenis pewarna tekstil adalah Rhodamin B. Beberapa metode yang telah dikembangkan untuk menghilangkan dari limbah pewarna, seperti pengolahan biologis, koagulasi - flokulasi, ozonisasi, membran filtrasi, *Ion-Exchange*, degradasi Fotokatalisis dan adsorpsi (Gouvea, 2012; Wu, 2012).

Saat ini penelitian tentang degradasi fotokatalisis banyak dilakukan karena metoda ini dianggap lebih murah dan efisien untuk penggunaan dalam jangka waktu yang lama. Salah satu bahan yang digunakan adalah ZnO , karena harganya yang relatif murah. Penelitian tentang ZnO sebagai fotokatalis bertujuan untuk meningkatkan aktivitas fotokatalis dan efisiensi katalitiknya seperti dengan pendopongan atau pembuatan nanokomposit (Joshi dan Shrivastava, 2011, Rashad dkk, 2011; Juan dkk, 2010; Tu dkk, 2012; Rakgalakane dkk, 2011; Shah dkk, 2014). Pendopongan Fe, SnO_2 pada ZnO maupun pembuatan nanokomposit seperti SnO_2/ZnO mampu meningkatkan efisiensi fotokatalisisnya antara 40%-70%. Salah satu kelemahan dari pendopongan dan pembuatan nanokomposit tersebut adalah proses pemisahan material fotokatalis dengan polutan karena material fotokatalis yang berbentuk serbuk dapat menjadi ikut terbuang pada proses pemisahan (Nguyen, dkk 2014; Shah, dkk 2014).

Salah satu strategi supaya mempermudah proses pemisahan digunakan bahan magnetik sebagai bahan yang dikompositkan dengan ZnO karena bahan magnetik mudah dipisah cukup

dengan diberikan medan magnet luar (Casbeer, dkk 2012). Shah (2014) telah berhasil mensintesis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$ 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 ZnO cenderung memiliki sifat kemagnetan yang rendah.

Barium heksaferit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ merupakan bahan yang bersifat ferrimagnetik dengan nilai koersivitas dan magnetisasi yang tinggi, suhu transisi magnet (*Temperature Curie* T_c) yang tinggi yaitu sekitar 450°C , sifat kimia yang stabil dan ketahanan terhadap korosi sangat baik dengan harga yang relatif murah (Sadhana, dkk 2012). Sehingga pembentukan komposit barium heksaferit ZnO diharapkan dapat memberikan keunggulan sifat magnetik dan fotokatalisis yang baik. Pada makalah ini, kami telah berhasil mensintesis komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{ZnO}$ dengan variasi komposisi ZnO dan mengkaji struktur Kristal, morfologi dan sifat fotokatalisisnya. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa menunjukkan morfologi yang semakin halus dengan adanya peningkatan komposisi ZnO . Sedangkan efektivitas fotokatalis juga meningkat dengan peningkatan komposisi ZnO .

METODE EKSPERIMEN

Sintesis $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ pada penelitian ini menggunakan reaksi padatan dengan mereaksikan BaCO_3 dengan Fe_3O_4 yang disintesis dari pasir besi tulungagung. Reaksi padatan dilakukan pada suhu 600°C selama 8 jam untuk kalsinasi dan 800°C selama 16 jam untuk sintering. Sintesis komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{ZnO}$ dilakukan dengan metode kopresipitasi. Serbuk $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sebanyak 0,55 gram distirer dengan *deionized water* 5 ml kecepatan 350 rpm suhu 40°C sambil ditetesi larutan $\text{Zn}(\text{Ac})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0,1 M; 0,2 M; 0,3 M; dan 0,4 M) selama 30 menit, kemudian ditetesi ammonia hingga larutan membentuk koloid dengan $\text{pH}=9$. Sampel diisahkan dari larutan dengan dekantasi, kemudian dicuci, dikeringkan, kemudian disintering pada suhu 550°C

selama 2 jam. Sampel yang diperoleh kemudian dianalisis dengan SEM/ EDAX, dan XRD. Pengujian Photokatalisis $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{ZnO}$ dilakukan dengan mencampurkan komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{ZnO}$ pada larutan pewarna Rhodamin B, kemudian disinari menggunakan lampu UV di ruang gelap. Dalam pengujian ini dilakukan variasi lama penyinaran tiap 20 menit dengan total lama penyinaran 120 menit. Massa komposit yang digunakan adalah 0.04 g distirer dengan larutan pewarna selama 30 menit. Larutan Rhodamin B hasil perlakuan kemudian diukur absorbansinya menggunakan UV-Vis Spektrometer.

HASIL DAN PEMBAHASAN

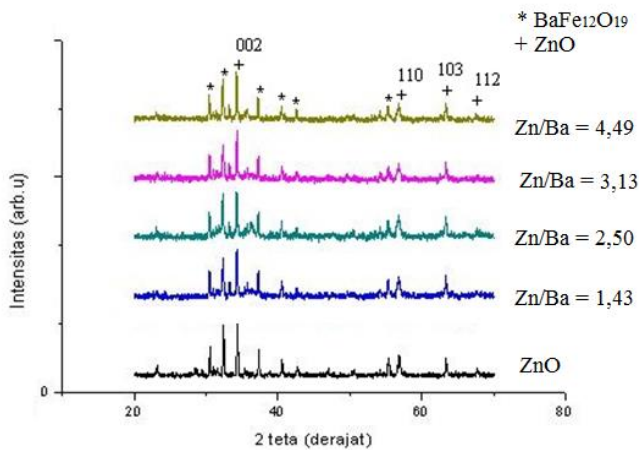
Pada Tabel 1 ditunjukkan hasil karakterisasi SEM-EDX untuk menentukan komposisi unsur penyusun komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{ZnO}$. Unsur pada komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{ZnO}$ tersusun dari empat jenis unsur yaitu Ba, Fe, Zn, dan O berarti bahwa komposit ini tidak mengandung impuritas dari unsure yang lain. Perbandingan Fe/Ba sekitaran 11-12, hal ini menunjukkan komposisi Barium heksaferit mendekati ideal. Sedangkan perbandingan Zn/Ba bervariasi antara 1.43 sampai dengan 4.49 dimana semakin besar nilai Zn/Ba menunjukkan kandungan senyawa ZnO pada komposit ini semakin tinggi. Untuk hasil karakterisasi selanjutnya urutan sampel didasarkan pada perbandingan Zn/Ba untuk mengetahui pengaruh komposisi ZnO pada komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{ZnO}$ terhadap struktur kristal, morfologi dan efektifitas fotokatalisisnya.

Hasil karakterisasi XRD pada sampel komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{ZnO}$ di tampilkan pada gambar 1. Selain itu juga ditampilkan kurva XRD ZnO sebagai pembanding. Pada gambar 1 tampak dengan jelas puncak-puncak XRD yang menunjukkan fase barium heksaferit dan ZnO . 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 ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$), hasil ini menunjukkan bahwa sintesis komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{ZnO}$

telah berhasil dilakukan. Dari Gambar 1 tampak juga bahwa semakin besar nilai Zn/Ba maka puncak fase ZnO semakin tinggi juga munculnya bidang (112) yang semakin jelas.

Tabel 1. Komposisi Unsur Penyusun Komposit BaFe₁₂O₁₉/ZnO Hasil karakterisasi SEM-EDX

Sampel	% atom		Perbandingan Unsur			
	Ba	Fe	O	Zn	Fe/Ba	Zn/Ba
Sampel 1	3.77	43.93	46.9	5.4	11.65	1.43
Sampel 2	3.45	40.73	47.18	8.63	11.81	2.50
Sampel 3	3.36	36.86	49.27	10.51	10.97	3.13
Sampel 4	3.15	36.28	46.45	14.13	11.52	4.49



Gambar 1. Pola difraksi XRD komposit BaFe₁₂O₁₉/ZnO pada berbagai komposisi ZnO.

Analisis lebih lanjut pada hasil kurva XRD ini dilakukan dengan menggunakan software GSAS. Pada tabel 2 di tampilkan rangkuman parameter kisi Barium heksaferit pada berbagai komposisi ZnO. Hasil *refinement* pada tabel 2 menunjukkan bahwa struktur kristal BaFe₁₂O₁₉ pada sampel komposit tidak banyak mengalami perubahan dimana struktur kristalnya adalah heksagonal dengan parameter kisi a,b sekitar 5,87 Å dan c= 2,12Å dan *space group* P6₃/mmc (194), hasil ini sedikit lebih kecil untuk parameter kisi a,b dibandingkan dengan model standar BaFe₁₂O₁₉ pada ICDD no. 01-078-0133.

Hasil analisis *refinement* menggunakan software GSAS pada fase ZnO

dirangkum pada tabel 3. Secara umum ZnO mempunyai struktur kristal *hexagonal wurtzite* dengan parameter kisi a,b = 3,22 Å dan b= 5,22 Å dengan *space group* P6₃mc (No. 186). Tidak ada perubahan parameter kisi yang signifikan terhadap kenaikan komposisi ZnO.

Tabel 2. Parameter Kisi Fasa BaFe₁₂O₁₉ komposit BaFe₁₂O₁₉/ZnO

Parameter kisi	Model BaFe ₁₂ O ₁₉	BaFe ₁₂ O ₁₉			
		Zn/Ba 1,43	Zn/Ba 2,50	Zn/Ba 3,13	Zn/Ba 4,49
a = b (Å)	5,893	5,8723	5,8738	5,8704	5,8755
c (Å)	23,194	23,1248	23,1199	23,1024	23,1334
a/c	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
c/a	3,94	3,94	3,94	3,94	3,94
Rp		0,0575	0,0576	0,0605	0,0564
Rwp		0,0732	0,073	0,0779	0,0728
χ ²		1,322	1,491	1,426	1,556

Tabel 3 Parameter Kisi Fasa ZnO komposit BaFe₁₂O₁₉/ZnO

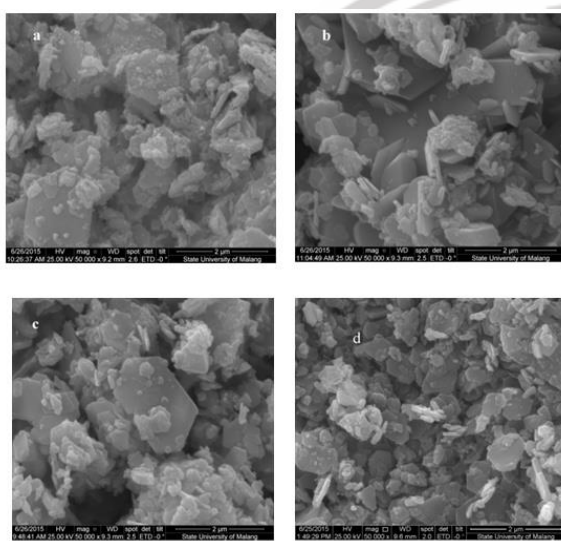
Berdasarkan nilai rasio c/a dan a/c terlihat bahwa untuk masing-masing fasa BaFe₁₂O₁₉ and ZnO memiliki nilai yang sama dengan model. Sehingga secara umum bahwa struktur kristal BaFe₁₂O₁₉ and ZnO pada penyusun komposit BaFe₁₂O₁₉/ZnO tidak mengalami perubahan dengan meningkatnya komposisi ZnO.

Gambar 2 menampilkan hasil photo SEM pada komposit BaFe₁₂O₁₉/ZnO. Pada semua sampel terlihat bahwa morfologi

Parameter	Model ZnO	ZnO			
		1 : 1,5	1 : 2,5	1 : 3	1 : 4
a=b (Å)	3,250	3,2364	3,2443	3,2445	3,2294
c (Å)	5,250	5,2275	5,2133	5,2319	5,2180
α=β (°)	90	90	90	90	90
γ (°)	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

komposit terdiri dari butiran besar yang berbentuk heksagonal (*plate like*), dan butiran kecil atau berbentuk jarum yang melekat pada butiran besar. Butiran besar

merupakan barium heksaferit yang terbentuk karena adanya proses reaksi padatan pada suhu tinggi. Bentuk morfologi berupa hexagonal (*plate like*) merupakan bentuk terbaik untuk aplikasi sebagai material adsorben. Sementara bulatan bulatan kecil yang melekat pada butiran besar (barium heksaferit) merupakan ZnO. Ukuran butir ZnO jauh lebih kecil dibandingkan Barium heksaferit karena ZnO di sintesis melalui kopresipitasi pada suhu rendah, proses ini umumnya akan menghasilkan nanopartikel.



Gambar 2. Hasil photo SEM komposit BaFe₁₂O₁₉/ZnO pada berbagai variasi Zn/Ba (a) 1,43 (b) 2,50 (c) 3,13 dan (d) 4,49

Pada Gambar 2 ditampilkan morfologi hasil SEM, tampak bahwa semakin besar komposisi ZnO maka morfologi permukaan komposit BaFe₁₂O₁₉/ZnO terlihat semakin halus dan kecil. Hal ini sangat erat kaitannya dengan distribusi ZnO pada komposit BaFe₁₂O₁₉/ZnO. Barium heksaferit mempunyai sifat magnet yang cukup tinggi, sehingga diantara partikel BaFe₁₂O₁₉ dengan tetangga terdekatnya cenderung membentuk agregat. Semakin tinggi komposisi ZnO maka agregasi antara butir Barium heksaferit akan semakin berkurang, sehingga morfologi permukaan komposit BaFe₁₂O₁₉/ZnO akan tampak semakin halus.

Hasil pengukuran absorbansi Rhodamin B hasil perlakuan uji

fotokatalisis komposit BaFe₁₂O₁₉/ZnO pada berbagai komposisi ZnO ditunjukkan sebagai fungsi dari waktu pada gambar 3. Pada setiap komposit dilakukan variasi waktu penyinaran dengan lampu UV 15 W setiap 20 menit sampai menit ke 120 di ruangan gelap. Konsentrasi Rodhamin B yang digunakan untuk uji fotokatalisis adalah sebesar 30 ppm. Pada pengujian ini digunakan juga BaFe₁₂O₁₉ dan ZnO sebagai pembanding efek fotokatalis dari komposit BaFe₁₂O₁₉/ZnO. Pengukuran Absorbansi dilakukan pada panjang gelombang 554 nm karena Rhodamin B mempunyai puncak absorbansi maksimum pada panjang gelombang ini. Pada gambar 3 tampak bahwa Absorbansi Rhodamin B menurun dengan semakin lama waktu penyinaran.

Pada gambar 3 dapat terlihat bahwa pola grafik untuk komposisi Zn/Ba = 1,43 sampai dengan Zn/Ba = 3,13 cenderung mengikuti pola absorpsi BaFe₁₂O₁₉. Sedangkan untuk komposit dengan Zn/Ba = 4,49 cenderung mengikuti *trend* ZnO murni. Dalam proses degradasi larutan pewarna ini terdapat dua mekanisme yang terjadi. Mekanisme yang pertama adalah proses adsorpsi oleh material magnetik BaFe₁₂O₁₉ dan mekanisme yang kedua adalah fotokatalisis oleh ZnO. Kedua mekanisme tampak pada nilai absorbansi pada sebelum dilakukan penyinaran (0 menit). Pada tahap ini penurunan nilai absorbansi Rhodamin bergantung pada sifat absorpsi bahan dimana komposit berfungsi sebagai adsorben. Sedangkan setelah penyinaran sinar UV maka penurunan absorbansi rhodamin B dipengaruhi oleh faktor absorpsi dan faktor fotokatalisis komposit.

Pada penyinaran 120 menit, semakin besar komposisi ZnO maka semakin banyak konsentrasi larutan pewarna yang terdegradasi. Hal ini disebabkan karena ZnO mempunyai sifat fotokatalisis yang baik. Sedangkan pada saat sebelum penyinaran (0 menit) nilai absorbansi terendah ditunjukkan oleh barium heksaferit, hal ini mengindikasikan bahwa barium heksaferit mempunyai sifat absorpsi yang baik.

Pada gambar 3 tampak bahwa komposit BaFe₁₂O₁₉/ZnO untuk variasi

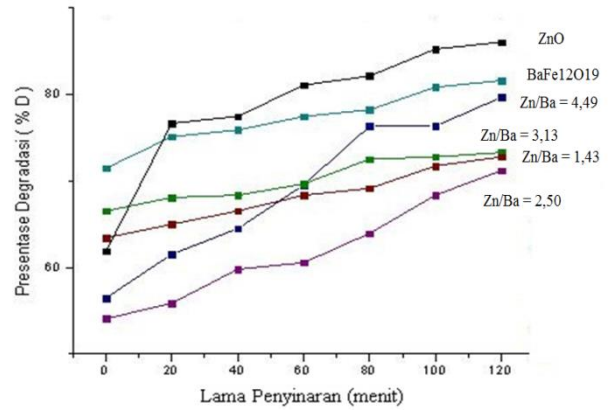
Zn/Ba = 2,5 memiliki nilai absorbansi yang lebih kecil dibandingkan variasi Zn/Ba = 1,43. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh sifat adsorpsi dari BaFe₁₂O₁₉ lebih dominan dibandingkan dengan kinerja fotokatalis kompositnya.

Nilai absorbansi pada panjang gelombang 554 nm telah dikalibrasi pada berbagai konsentrasi Rhodamin B untuk mengetahui konsentrasi akhir (ppm) larutan Rhodamin B yang terdegradasi. Sedangkan persentase degradasi (%D) Rhodamin B hasil perlakuan komposit BaFe₁₂O₁₉/ZnO dihitung dengan persamaan :

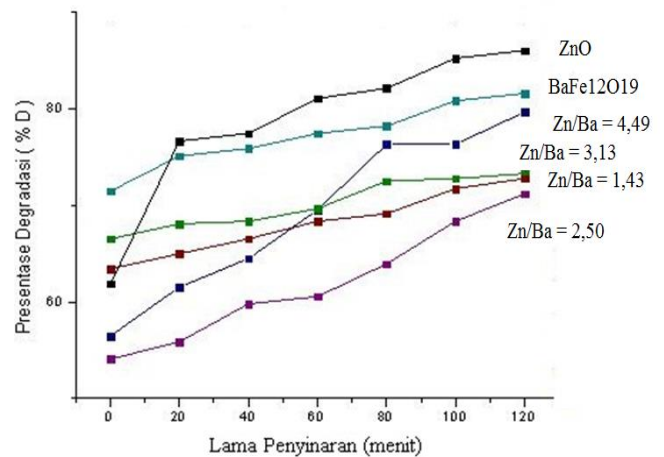
$$\% \text{ degradasi (D)} = \frac{C_o - C_t}{C_o} \times 100\%$$

Dimana C_o = konsentrasi awal Rhodamin B (sebelum radiasi) dan C_t = konsentrasi Rhodamin B pada t menit .

Hasil perhitungan persentase degradasi rhodamin B sebagai fungsi dari waktu ditunjukkan pada gambar 4. Pada gambar 4 tampak bahwa semakin besar komposisi ZnO maka efektivitas fotokatalisnya semakin tinggi. Dalam penelitian ini komposisi optimum untuk degradasi larutan pewarna Rhodamin B diperoleh oleh komposit BaFe₁₂O₁₉/ZnO dengan Zn/Ba= 4,49 dan lama penyinaran 120 menit. nilai persentase degradasinya yang dicapai sebesar 79.72 % setelah BaFe₁₂O₁₉ dan ZnO. Nilai ini sedikit lebih rendah dibandingkan BaFe₁₂O₁₉ atau ZnO yang mencapai 82% dan 89 %. Meskipun nilai %D material fotokatalis ZnO lebih tinggi yakni sebesar 89.02% namun keduanya memiliki kelemahan, dimana BaFe₁₂O₁₉ karena mekanismenya adsorpsi maka tidak bisa digunakan secara berulang, sedangkan ZnO sukar di pisahkan dengan larutan pewarna karena bukan bahan yang bersifat magnet. Sehingga komposit BaFe₁₂O₁₉/ZnO tetap memberi keunggulan karena adanya material magnetik pada material fotokatalis sehingga bisa mendegradasi larutan pewarna secara berulang dan mudah dalam hal pemisahannya.



Gambar 3. Kurva Absorbansi Rhodamin B hasil perlakuan komposit BaFe₁₂O₁₉/ZnO pada panjang gelombang 554 nm sebagai fungsi dari waktu



Gambar 5 Grafik persentase degradasi Rhodamin B hasil perlakuan komposit BaFe₁₂O₁₉/ZnO pada panjang gelombang 554 nm sebagai fungsi dari waktu

KESIMPULAN

Komposit BaFe₁₂O₁₉/ZnO berhasil disintesis dengan berbagai variasi komposisi ZnO. Komposit ini mempunyai morfologi campuran butiran BaFe₁₂O₁₉ dalam skala mikron dan ZnO sebagai nanopartikel. Komposisi ZnO tidak mempengaruhi struktur kristal BaFe₁₂O₁₉ dan ZnO pada komposit BaFe₁₂O₁₉/ZnO. Semakin tinggi ZnO menyebabkan morfologi permukaan komposit BaFe₁₂O₁₉/ZnO semakin kecil dan rapat. Komposisi optimum untuk degradasi larutan pewarna Rhodamin B pada penelitian ini adalah komposit BaFe₁₂O₁₉/ZnO dengan Zn/Ba= 4,49 dan lama penyinaran 120 menit, dengan nilai persentase degradasinya sebesar 79.72 %.

DAFTAR RUJUKAN

- Casbeer, Erik., K, Virender. Sharma., Li, Xiang-Zhong. 2012. Synthesis and Photocatalytic Activity of Ferrite under visible light:A review. *Separation and Purification Technology* 87, 1-14.
- 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, 433-440.
- Joshi dan Shrivastava. 2011. Degradation of Alizarine Red-S (A Textiles Dye) by Photocatalysis using ZnO and TiO₂ as Photocatalyst. *International Journal Of Enviromental Sciences*. Volume 2, No 1
- Juan. 2010. Synthesis and Characterization of Fe₃O₄/ZnO and Fe₃O₄/ZnMnS Core-Shell Heterostructured Nanoparticles. Thesis. University of Perto Rico Mayagüez Campus.
- Nguyen, Van Cuong. 2014. Bifunctional Core-Shell Nanocomposite Mn-doped ZnO/Fe₃O₄ 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 Artile ID 514205.
- Rashad, Ismail, Adel A., Osama, I., Ibrahim, A., Hakim T., Kandil. 2014. Photocatalytic Decomposition of Dyes Using ZnO Doped SnO₂ 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 BaFe₁₂O₁₉ Synthesized by Microwave-Hydrothermal Method. *Appl Nanosci* (2012)2:247–252.
- Soleh, Rosari., Djaja, Nadia Febiana. 2014. UV Light Photocatalytic Degradation of Organic Dyes with Fe-doped ZnO Nanoparticles. *Superlattices and Microstructures* 74 (2014) 217-233.
- Shah, P., Siddhapara, K. S., Shah, D. V. 2014. Preparation, characterization and photocatalytic activity of Fe₂O₃/ZnO and Fe₃O₄/ZnO. *Applied Science Innovations*. 6/1 (2014)336-341.
- Tu, Ya-Fang., Fu, Qiu-Ming., Sang, Jian-Ping., Zou, Xian-Wu. 2012. Synthesis and Photoluminescence Properties of The ZnO@SnO₂ Core–Shell Nanorod Arrays. *Springer*, (2012) 47:1541–1545.
- Wu, Qiuhua, Cheng Feng, Chun Wang & Zhi Wang.2012. A facile one-pot solvothermal method to produce superparamagnetic graphene–Fe₃O₄ nanocomposite and its application in the removal of dye from aqueous solution. *Elsevier Press*,No.101:210-214