

SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT KAOLIN-Cr₂O₃ SERTA PEMANFAATANNYA SEBAGAI FOTOKATALIS DALAM MENDEGRADASI ZAT WARNA *REMAZOL BRILLIANT ORANGE*

Ni Luh Eka Anggarayanti^{1*}, I Nengah Simpen¹, dan Ni Gusti Ayu Made Dwi Adhi Suastuti¹

¹*Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali*

**E-mail: ekaanggarayanti18@gmail.com*

ABSTRAK

Komposit kaolin-Cr₂O₃ telah disintesis dan dikarakterisasi luas permukaan spesifik secara metode adsorpsi biru metilen, kristalinitas dan ukuran kristal secara X-RD dan gugus fungsi menggunakan FT-IR. Luas permukaan spesifik kaolin-Cr₂O₃ mengalami peningkatan sebesar 1,9822 m²/g dibandingkan dengan kaolin. Hasil X-RD diperoleh 2 θ spesifik dari Cr₂O₃ pada kaolin-Cr₂O₃ dengan pergeseran puncak 2 θ = 35,96^o dan 41,90^o. Ukuran kristal kaolin dan kaolin-Cr₂O₃ dihitung menggunakan persamaan Scherrer dan dihasilkan ukuran kristal berturut-turut 32,63 nm dan 29,33 nm. Spektro inframerah menunjukkan adanya gugus spesifik dari Cr₂O₃ pada bilangan gelombang 653,87 cm⁻¹ dan 613,36 cm⁻¹. Kondisi optimum fotodegradasi zat warna *remazol brilliant orange* oleh 0,5 gram komposit kaolin-Cr₂O₃ terjadi pada menit ke-50 dengan konsentrasi zat warna 50 ppm dan persentase degradasi zat warna *remazol brilliant orange* 81,49 ± 0,57% lebih besar dibandingkan degradasi oleh Cr₂O₃ (11,97 ± 2,58%).

Kata kunci : Komposit kaolin-Cr₂O₃, karakterisasi, fotokatalis, *remazol brilliant orange*.

ABSTRACT

The Cr₂O₃-kaolin composite has been synthesized and characterized by using a methylene blue method to determine the specific surface area of the composite, X-RD to determine the crystallinity and crystal size and FT-IR to find out the functional groups in composite. The specific surface area of Cr₂O₃-kaolin, compared to kaolin was increased by 1,9822 m²/g. Characterization using X-RD's showed that the specific 2 θ of Cr₂O₃ from Cr₂O₃-kaolin experienced a shift of 2 θ peak as 35,96^o and 41,90^o. Crystal size of kaolin and Cr₂O₃-kaolin was calculated using Scherrer equation and the result successively were 32,63 nm and 29,33 nm. Infrared spectra indicate specific groups of Cr₂O₃ in wave numbers 653,87 cm⁻¹ and 613,36 cm⁻¹. The optimum conditions for photodegradation of remazol brilliant orange dye using 0,5 grams of Cr₂O₃-kaolin composite occurred in the 50th minute and with the concentration of remazol brilliant orange dye was 50 ppm. Degradation percentage of remazol brilliant orange dye was 81,49 ± 0,57% which is greater than the degradation using Cr₂O₃ (11,97 ± 2,58%).

Keywords : Composite Cr₂O₃-kaolin, characterization, photocatalyst, remazol brilliant orange.

PENDAHULUAN

Zat warna *remazol brilliant orange* merupakan zat warna yang sering digunakan dalam industri tekstil. Zat warna jenis ini di lingkungan, memiliki sifat *non-biodegradable* atau susah diuraikan secara biologis dan apabila zat warna ini terlalu lama di alam akan menyebabkan banyak penyakit karena bersifat karsinogen dan mutagenik (Wijaya dkk, 2005). Sejalan dengan masalah yang ditimbulkan zat warna tersebut, telah banyak dikembangkan metode pengolahan limbah untuk zat warna ini

antara lain dengan metode adsorpsi dan lumpur aktif (Mondal, 2008).

Metode adsorpsi merupakan metode yang efisien, namun mempunyai kekurangannya yaitu zat warna yang diserap oleh adsorben masih dalam bentuk senyawa kompleks, dan apabila adsorben sudah jenuh dan dibuang ke lingkungan akan mencemari lingkungan kembali. Metode lumpur aktif juga mempunyai kelemahan selain harganya yang mahal, metode ini kurang tepat digunakan untuk menangani limbah zat warna *remazol*

brilliant orange karena zat warna ini bersifat *non-biodegradable* (Wismayanti dkk, 2015).

Metode yang cocok digunakan untuk penanganan limbah zat warna *remazol brilliant orange* adalah dengan metode fotodegradasi. Metode ini mempunyai prinsip pemecahan senyawa kompleks dalam zat warna menjadi senyawa yang lebih sederhana sehingga mudah diproses secara alami oleh alam (Batista *et al*, 2010). Metode fotodegradasi memerlukan suatu katalis yang bersifat semikonduktor (fotokatalis). Menurut Svetozar *et al*. (2000), senyawa Cr_2O_3 merupakan suatu semikonduktor dengan energi celah (*band gap*) sebesar 3,2-3,4 eV sehingga memungkinkan terjadi eksitasi electron dari pita valensi ke pita konduksi membentuk h^+ dan e^- (Batista *et al*, 2010).

Fotodegradasi dapat ditingkatkan efektifitasnya dengan pengembangan fotokatalis Cr_2O_3 pada media pengemban salah satunya adalah lempung kaolin yang jumlahnya melimpah di Indonesia (Fatimah dan Wijaya, 2005). Kaolin mempunyai kation-kation yang bersifat labil dan mudah digantikan oleh kation lain (Chen, 1975). Penelitian yang dilakukan oleh Sunardi, dkk (2012), penggunaan komposit kaolin- TiO_2 dalam fotodegradasi zat warna *rhodamine B* dengan waktu 60 menit dan berat katalis 150 mg memperoleh persentase degradasi sebesar 94,7% pada kondisi optimumnya. Penelitian yang dilakukan oleh Guo *et al*. (2014) dengan menggunakan komposit kaolin Fe_2O_3 sebanyak 5 gram untuk mendegradasi zat warna *rhodamine B* dengan waktu 120 menit diperoleh persentase degradasi sebesar 98% pada kondisi optimumnya.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan pengembangan berbagai fotokatalis semikonduktor pada kaolin dapat meningkatkan efektifitasnya dalam proses fotodegradasi. Dengan demikian, dilakukan sintesis komposit kaolin- Cr_2O_3 untuk degradasi zat warna *remazol brilliant orange*.

MATERI DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kaolin, garam kromium

(III) nitrat nano hidrat ($\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$), natrium karbonat (Na_2CO_3), H_2O_2 , Cr_2O_3 , *remazol brilliant orange*, H_2SO_4 , akuades dan aqua DM.

Peralatan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah erlenmeyer, labu ukur, gelas ukur, gelas beker, sentifuge, labu alas bulat, corong gelas, pipet volumetri, pipet tetes, batang pengaduk, pengaduk magnetik, termometer, timbangan analitik, furnace/tanur oven, oven, ayakan 250 μm , botol vial, kotak penyinaran, plastik hitam, kertas saring, lampu UV C Merk Phillips $\lambda = 253,47$ nm, spektroskopi Difraksi Sinar X, spektroskopi *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR) Pestic-21 Shimadzu dan spektrofotometer UV-vis NIR Ocean Optics/HR 4000 CG-UV-NIR.

Cara Kerja

Preparasi kaolin

Pada tahap pertama ini 100 gram kaolin lolos ayakan 250 μm dicuci dengan 1L akuades selama 3-4 jam. Kaolin kemudian dimurnikan dengan 1L H_2O_2 dan diaduk selama 12 jam. Kaolin hasil pemurnian dicuci menggunakan akuades sebanyak 3 kali. Setelah bersih, kaolin selanjutnya diaktivasi dengan H_2SO_4 2M sebanyak 1L diaduk selama 14-16 jam. Kaolin hasil preparasi dicuci dengan akuades sebanyak 3 kali, dikeringkan dalam oven pada suhu 120⁰ dan diayak kembali menggunakan ayakan 250 μm .

Preparasi Cr_2O_3

Larutan fotokatalis dibuat melalui hidrolisis garam kromium (III) nitrat nano hidrat ($\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) sebanyak 20,97 gram dengan menggunakan natrium karbonat 10,6 gram (Na_2CO_3) yang dilarutkan dalam 500 mL aqua DM dan diaduk selama 1 jam. Proses ini akan menghasilkan $[\text{Cr}_3(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_9]^{5+}$ (Negara, 2008).

Sintesis komposit kaolin- Cr_2O_3

Sintesis komposit kaolin- Cr_2O_3 dilakukan dengan cara sebagai berikut mencampurkan 50 gram kaolin dengan 500mL larutan $[\text{Cr}_3(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_9]^{5+}$ diaduk cepat selama 4 jam dan di *aging* 14-16 jam. Selanjutnya padatan di cuci dengan akuades sampai bersih. Padatan kemudian di saring dengan vakum serta diuapkan pada suhu 70⁰C selama 2-4 jam. Setelah itu, padatan di

Sintesis dan Karakterisasi Komposit Kaolin-Cr₂O₃ serta Pemanfaatannya sebagai Fotokatalis dalam Mendegradasi Zat Warna *Remazol Brilliant Orange* (Ni Luh Eka Anggarayanti, I Nengah Simpen, dan Ni Gusti Ayu Made Dwi Adhi Suastuti)

kalsinasi pada suhu 700°C dalam waktu 3 jam. Komposit yang telah terbentuk selanjutnya dikarakterisasi dengan adsorpsi biru metilen, X-RD dan FT-IR.

Penentuan waktu penyinaran optimum

Sebanyak 6 buah gelas piala 50 mL dibungkus plastik hitam dan diisi dengan 25 mL larutan zat warna *remazol brilliant orange* dengan konsentrasi 100 ppm. Ke dalam enam gelas piala tersebut ditambahkan 0,5 gram kaolin-Cr₂O₃ dan disinari dengan sinar UV ($\lambda = 253,47$ nm) masing-masing selama 10, 20, 30, 40, 50, dan 60 menit. Pemisahan antara suspensi dan filtrat yang mengandung sisa zat warna dilakukan sentrifugasi dengan kecepatan 3500 rpm selama 10 menit. Filtrat hasil fotodegradasi dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-vis pada panjang gelombang 493,60 nm.

Penentuan konsentrasi optimum remazol brilliant orange

Sebanyak 4 buah gelas piala 50 mL dibungkus plastik hitam dan diisi dengan 25 mL larutan zat warna *remazol brilliant orange* dengan variasi konsentrasi 25, 50, 75 dan 100 ppm. Ke dalam enam gelas piala tersebut ditambahkan 0,5 gram kaolin-Cr₂O₃ dan disinari dengan sinar UV ($\lambda = 253,47$ nm) selama waktu optimum yang didapat. Pemisahan antara suspensi dan filtrat yang mengandung sisa zat warna dilakukan sentrifugasi dengan kecepatan 3500 rpm selama 10 menit. Filtrat hasil fotodegradasi dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-vis pada panjang gelombang 493,60 nm.

Efektivitas fotodegradasi remazol brilliant orange dengan menggunakan komposit kaolin- Cr₂O₃

Sebanyak 6 buah gelas piala 50 mL dibungkus plastik hitam dan diisi dengan 25 mL larutan zat warna *remazol brilliant orange*

dengan konsentrasi optimum yang didapat. Ke dalam 3 gelas piala tersebut ditambahkan 0,5 gram kaolin-Cr₂O₃ serta 3 gelas piala lainnya ditambahkan 0,5 gram Cr₂O₃ dan disinari dengan sinar UV ($\lambda = 253,47$ nm) selama waktu optimum yang didapat. Pemisahan antara suspensi dan filtrat yang mengandung sisa zat warna dilakukan sentrifugasi dengan kecepatan 3500 rpm selama 10 menit. Filtrat hasil fotodegradasi dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-vis dengan panjang gelombang 493,60 nm. Kemudian tahap efektifitas diulangi tanpa menggunakan sinar UV.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi komposit kaolin-Cr₂O₃

Komposit kaolin-Cr₂O₃ dikarakterisasi dengan adsorpsi biru metilen, X-RD dan FT-IR guna mengetahui perbedaan antara kaolin hasil preparasi dengan komposit kaolin-Cr₂O₃ serta mengetahui keberhasilan pengembangan Cr₂O₃ pada media pengemban kaolin.

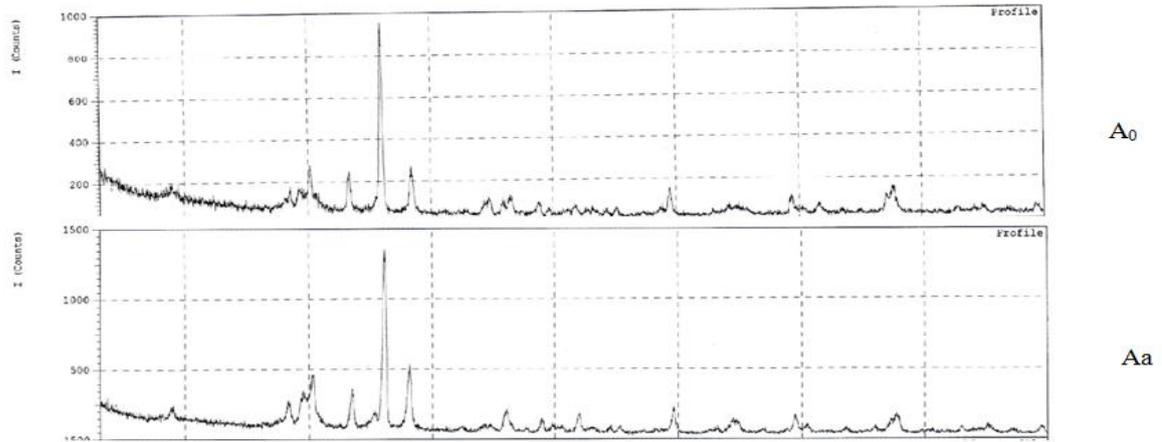
Pada Tabel 1 dapat dilihat nilai luas permukaan spesifik kaolin dan kaolin-Cr₂O₃.

Tabel 1. Nilai Luas Permukaan Spesifik A₀

Jenis Katalis	Luas Permukaan Spesifik (S, m ² /g)
A ₀	15,8554
A _a	17,8376
(kaolin) dengan A _a (kaolin-Cr ₂ O ₃)	

Berdasarkan data pada Tabel 1. menunjukkan bahwa terjadi peningkatan luas permukaan kaolin dengan penambahan fotokatalis Cr₂O₃ sebesar 1,9822 m²/g. Kenaikkan luas permukaan ini akan mengakibatkan komposit kaolin Cr₂O₃ untuk fotodegradasi akan lebih maksimal.

Difraktogram kaolin dan kaolin-Cr₂O₃ ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Difraktogram X-RD A₀ (kaolin) dan A_a (kaolin-Cr₂O₃)

Gambar 1 menunjukkan bahwa pada difraktogram A₀ menunjukkan kelimpahan kaolin pada sudut difaksi 2θ : 25,97⁰ sedangkan pada A_a, kelimpahan kaolin ditunjukkan pada 2θ: 26,08⁰. Berdasarkan Gambar 1, sampel A_a terjadi pergeseran puncak spesifik Cr₂O₃ pada 2θ = 35,96⁰ dan 41,90⁰ (Yue dan Zhou (2007), dengan perubahan intensitas menjadi lebih tinggi dibandingkan pada A₀. Hal ini membuktikan bahwa berdasarkan Cr₂O₃ berhasil teraman pada kaolin dan membentuk fase kristalin.

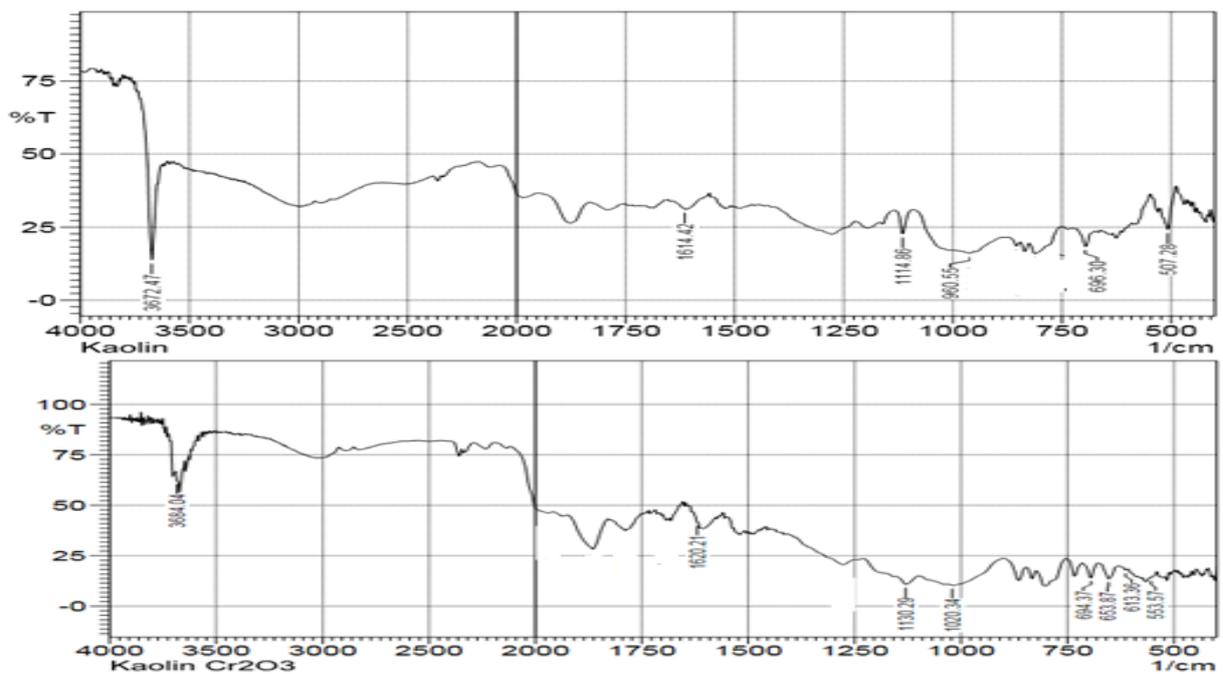
Tabel 2 menunjukkan nilai 2θ dari kaolin dan komposit kaolin-Cr₂O₃ yang diperoleh dari difraktogram diatas.

Tabel 2. Nilai 2θ A₀ (kaolin) dengan A_a (kaolin-Cr₂O₃)

Prediksi Material	A ₀	A _a
Kaolin	25,94 ⁰	26,08 ⁰
Si-O ₂	28,36 ⁰	28,07 ⁰
Kuarsa	20,16 ⁰	20,20 ⁰
Cr ₂ O ₃ Spesifik	-	35,96 ⁰ dan 41,90 ⁰

Ukuran kristal dihitung berdasarkan persamaan Scherrer. Didapatkan hasil ukuran kristal kaolin adalah 32,632 nm dan ukuran komposit kaolin-Cr₂O₃ adalah 29,330 nm.

Spektra inframerah dari kaolin dan kaolin-Cr₂O₃ dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektra inframerah dari kaolin dan kaolin-Cr₂O₃

Sintesis dan Karakterisasi Komposit Kaolin-Cr₂O₃ serta Pemanfaatannya sebagai Fotokatalis dalam Mendegradasi Zat Warna *Remazol Brilliant Orange*
(Ni Luh Eka Anggarayanti, I Nengah Simpen, dan Ni Gusti Ayu Made Dwi Adhi Suastuti)

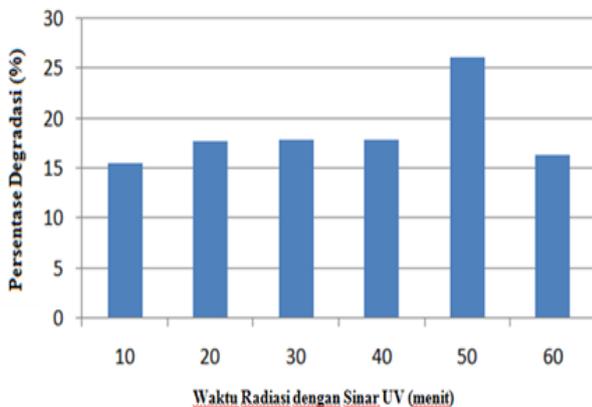
Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat munculnya puncak baru pada komposit kaolin-Cr₂O₃ pada bilangan gelombang spesifik Cr₂O₃ pada 653,87 cm⁻¹ dan 613,36 cm⁻¹ (Svetozar *et al*, 2000). Hal ini menandakan bahwa proses pengembangan Cr₂O₃ pada kaolin telah berhasil berdasarkan karakteristik gugus fungsinya. Bilangan gelombang yang muncul pada spetra inframerah dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Serapan karakteristik kaolin (A₀) dan komposit kaolin-Cr₂O₃ (Aa)

Prediksi gugus fungsi	Bil. gelombang (cm ⁻¹)	
	A ₀	Aa
Rentangan -OH oktahedral	3672,47	3684,04
-OH tekuk	1614,42	1620,21
Rentangan Si-O-Si	1114,86	1130,29
Al-O regangan	-	1020,34
Vibrasi ulur Al--O-H	960,55	-
Si-O-Si tekuk	696,30	694,37
Spesifik Cr ₂ O ₃	-	653,87 & 613,36
Rentang Si-O-Al	507,28	553,57

Penentuan waktu penyinaran optimum

Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui waktu optimum dalam mendegradasi zat warna *remazol brilliant orange*



Gambar 3. Kurva hubungan waktu penyinaran dengan persentase degradasi

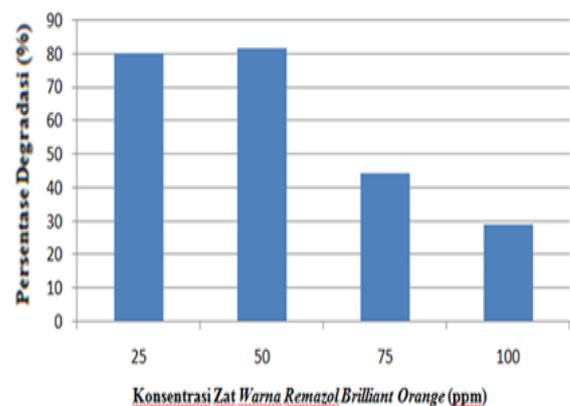
Berdasarkan Gambar 3 terjadinya peningkatan persentase degradasi dari menit ke-10 hingga menit ke-50. Hal ini disebabkan

bahwa semakin lama waktu penyinaran UV, maka semakin banyak foton yang mengenai katalis Cr₂O₃ sehingga Cr₂O₃ dapat membentuk hole (h^{+}_{vb}) dan elektron (e^{-}). Semakin banyak terbentuknya hole (h^{+}_{vb}) dan elektron (e^{-}) maka semakin banyak OH radikal (\bullet OH) serta radikal superoksida (\bullet O₂⁻) yang akan mereduksi dan mengoksidasi zat warna *remazol brilliant orange* (Widiantini, 2010). Waktu optimum yang diperlukan untuk mendegradasi *remazol brilliant orange* menggunakan 0,5 gram komposit kaolin-Cr₂O₃ dan sinar UV adalah 50 menit dengan persentase degradasi mencapai 25,97%.

Namun dari kurva pada Gambar 3, diperoleh terjadi penurunan persentase degradasi pada menit ke-60 karena kondisi komposit kaolin-Cr₂O₃ sudah jenuh dan menurunkan kinerja komposit. Penurunan persentase fotodegradasi yang signifikan juga dipengaruhi oleh senyawa yang sudah didegradasi dengan menggunakan komposit kaolin-Cr₂O₃ kembali membentuk zat warna *remazol brilliant orange* kembali (Ratih dkk, 2014).

Penentuan konsentrasi optimum *remazol brilliant orange*

Hasil fotodegradasi *remazol brilliant orange* dengan variasi konsentrasi menggunakan komposit kaolin-Cr₂O₃ dapat dilihat pada Gambar 4 sebagai berikut



Gambar 4. Kurva hubungan konsentrasi awal RBO dengan persentase degradasi

Gambar 4 menunjukkan bahwa konsentrasi *remazol brilliant orange* dengan konsentrasi 25 ppm mempunyai persentase degradasi sebesar 79,98%, 50 ppm sebanyak 81,56%, 75 ppm sebanyak 44,18%, dan 100 ppm sebanyak 29,02%. Peningkatan persentase degradasi terjadi pada konsentrasi 25 dan 50 ppm, namun penurunan persentase degradasi secara signifikan terjadi pada 75 dan 100 ppm. Hal ini disebabkan karena, *remazol brilliant orange* konsentrasi yang lebih tinggi memiliki jumlah molekul *remazol brilliant orange* lebih banyak. Akibatnya, molekul *remazol brilliant orange* dapat menutupi permukaan kaolin-Cr₂O₃ sehingga foton tidak dapat mencapai permukaan fotokatalis (Wismayanti dkk, 2015).

Efektivitas fotodegradasi zat warna *remazol brilliant orange* menggunakan komposit kaolin-Cr₂O₃

Hasil penentuan persentase degradasi (%D) zat warna *remazol brilliant orange* 50 ppm menggunakan 0,5 gram komposit kaolin-Cr₂O₃ dan Cr₂O₃ yang dipenyinaran sinar UV selama 50 menit disajikan pada Tabel 4. sebagai berikut.

Tabel 4. Hasil fotodegradasi menggunakan komposit kaolin-Cr₂O₃ dan Cr₂O₃ dengan penyinaran sinar UV

Jenis Katalis	Kondisi	Persentase degradasi (%)
kaolin-Cr ₂ O ₃	Dengan sinar UV	81,49 ± 0,57
Cr ₂ O ₃		11,97 ± 2,58

Berdasarkan Tabel 4, persentase degradasi pada larutan zat warna *remazol brilliant orange* pada kondisi optimum dengan menggunakan komposit kaolin-Cr₂O₃ dan Cr₂O₃ berturut-turut adalah 81,49 ± 0,57% dan 11,97 ± 2,58%. Besarnya persentase degradasi (%D) pada komposit kaolin-Cr₂O₃ daripada Cr₂O₃ diduga pada komposit kaolin-Cr₂O₃ zat warna yang masuk akan mengalami proses fotodegradasi secara berkelanjutan, hal ini disebabkan bahwa kaolin sebagai media pengemban berfungsi mentransfer zat warna ke permukaan fotokatalis (Wismayanti dkk, 2015). Berdasarkan data Tabel 4, komposit kaolin-Cr₂O₃ efektif dalam mendegradasi zat warna *remazol brilliant orange*.

Untuk mengetahui kinerja dari fotokatalis Cr₂O₃, dilakukan proses degradasi tanpa menggunakan sinar UV pada sampel kaolin-Cr₂O₃ dan Cr₂O₃. Hasil penentuan persentase degradasi zat warna *remazol brilliant orange* 50 ppm menggunakan komposit kaolin-Cr₂O₃ dan Cr₂O₃ yang tanpa penyinaran sinar UV selama 50 menit disajikan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Hasil fotodegradasi menggunakan komposit kaolin-Cr₂O₃ dan Cr₂O₃ tanpa penyinaran sinar UV

Jenis Katalis	Kondisi	Persentase degradasi (%)
kaolin-Cr ₂ O ₃	Tanpa penyinaran sinar UV	17,92 ± 4,39
Cr ₂ O ₃		3,44 ± 1,39

Dari Tabel 5. perlakuan degradasi zat warna *remazol brilliant orange* tanpa penyinaran sinar UV diperoleh persentase degradasi menggunakan komposit kaolin-Cr₂O₃ dan Cr₂O₃ berturut-turut adalah 17,92 ± 4,39% dan 3,44 ± 1,39%. Kecilnya %D pada kedua katalis tanpa penyinaran sinar UV ini membuktikan bahwa Cr₂O₃ benar-benar berfungsi sebagai fotokatalis yang mampu mendegradasi zat warna *remazol brilliant orange* secara optimal dengan bantuan dari sinar UV.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Kondisi optimum fotodegradasi menggunakan 0,5 gram komposit kaolin-Cr₂O₃ terjadi pada menit ke-50 dengan konsentrasi zat warna *remazol brilliant orange* 50 ppm dengan persentase fotodegradasi 81,49±0,57% dibandingkan dengan menggunakan Cr₂O₃ (11,97 ± 2,58).

Saran

Untuk memastikan hasil degradasi, perlu dilakukan karakterisasi hasil fotodegradasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada para penguji serta semua pihak yang telah banyak membantu, memberikan dukungan dan nasehat selama dilakukannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Batista, A .P. L., Carvalho, H. W., Luz, G. H. P., Martins, P. F. Q., Goncalves, M., and Oliveira, L. C. A. O., 2010, Preparation of CuO/SiO₂ and Photocatalytic Activity by Degradation of Methylene Blue, *Journal of Environmental Chemistry*, (8), 63.
- Chen, J. H., 1997, Degradation of The Platinum Aluminide Coating on CMSX4 at 1100 C, *Journal of Surface dan Coatings Technology* 92: 69.
- Fatimah, I., dan Wijaya K., 2005, Sintesis TiO₂/Zeolit Sebagai Fotokatalis Pengolahan Limbah Cair Industri Tapioka Secara Adsorpsi-Fotodegradasi, *Jurnal Teknoin*, Vol. 10, No. 4, 257.
- Mondal, S., 2008, Methods of Dye Removal from Dye House Effluent. *J. Enviromental Engineering*, 25,3.
- Negara, I. M. S., Wijaya, K., dan Sugiharto, E., 2008, Preparasi dan Karakterisasi Komposit Kromium Oksida-Montmorillonit, *Jurnal Kimia* 2, (2), 93.
- Ratih M., I. G. A. A., Diantariani, N. P., Widihati, I. A. G., 2014, Fotodegradasi Metilen Biru dengan Sinar UV dan Katalis ZnO, *Journal of Chemistry*, (8), 137.
- Sheng, G., Gaoke, Z., and Jiqwan, W., 2014, Photo-Fenton Degradation of Rhodamine B Using Fe₂O₃-Kaolin as Heterogeneous Catalyst: Characterization, Process Optimization and Mechanism, *Journal of Resources and Environmental Engineering*, Wuhan 430070.
- Sunardi, Utami I., dan Nora R. S., 2012, Sintesis dan Karakterisasi Komposit Kaolin-TiO₂ sebagai Fotokatalis untuk Degradasi Zat Warna Rhodamine B, *Tesis*, Program Studi Kimia FMIPA Universitas Lambung Mangkurat, Kalimantan Selatan.
- Svetozar, M., Miroslava, M., Stanko, P., and Rudolf, T., 2000, Formation of Chromia from Amorphous Chromium Hydroxide, *Original Scientific Paper*, (4), 789.
- Widiantini, N. L. P., 2010, Fotodegradasi Congo Red Dengan Sinar UV, Katalis ZnO dan Oksidator H₂O₂, *Skripsi*, Universitas Udayana, Bukit Jimbaran.
- Wijaya, K., Tahir I., dan Haryanti N., 2005, Sintesis Fe₂O₃-Montmorillonit Dan Aplikasinya Sebagai Fotokatalis Untuk Degradasi Zat Pewarna Congo Red, *Indo. J. Chem.*, 5(1), 41.
- Wismayanti, D. A., Diantariani, N. P., Santi, S. R., 2015, Pembuatan Komposit ZnO-Arang Aktif Sebagai Fotokatalis Untuk Mendegradasi Zat Warna Metilen Biru, *Journal of Chemistry*, (9), 109.
- Yue, W., and Zhou, W., 2007, Porous Crystals of Cubic Metal Oxides Templated by Cage-Containing Mesoporous Silica, *Journal of Materials Chemistry*, (1), 34.