



Synthesis and Characterization of Kaolin-TiO₂ from Ilmenite Bangka Composite for Photodegradation of Rhodamin B Dye

Sintesis dan Karakterisasi Komposit Kaolin/TiO₂ dari Ilmenit Bangka untuk Fotodegradasi Zat Warna Rhodamin B

Rezalia Annisa*, Verry Andre Fabiani, dan Nurhadini

Department of Chemistry, Universitas of Bangka Belitung
Kampus Terpadu Universitas Bangka Belitung, Bangka, Bangka Belitung, 33172

* Corresponding author: rezaliaannisa1234@gmail.com

ABSTRACT

The synthesis and characterization of kaolin-TiO₂ from ilmenite composite as a degradation of rhodamine B dye was prepared. Natural kaolin from Air Bara, Central Bangka and ilmenite from BPM Unit Metalurgi PT. Timah (Persero), Tbk., Mentok, Bangka Belitung. The kaolin sample was chemically activated and the ilmenite was carried out leaching with acid (HCl), then the ilmenite was calcined at temperature of 700°C to obtain the anatase phase. Synthesis of kaolin-TiO₂ from ilmenite using the precipitation method using ethanol as a solvent, the composite using with 3 variation of kaolin mass i.e 0,2; 0,4 and 0,6 (w/w). The fungsional groups and the phase structure of kaolin-TiO₂ from ilmenite was analyzed using FTIR and XRD, then the composite was applied to rhodamine B solution to determine the percentage of degradation in the solution by UV-Vis Spectrophotometry analysis. Degradation was carried out by adding 150 mg kaolin-TiO₂ to 25 mL of rhodamine B solution and degradation process by irradiating UVC light. Based on FTIR and XRD data should that kaolin-TiO₂ from ilmenite was formed composite. The optimum variation of kaolin mass in the composite composition of 0,4:3 (w/w). Based on UV-Vis Spectrophotometry data, rhodamine B solution with composite kaolin-TiO₂ as catalyst was able to degrade rhodamine B up to 87,7% with the largest percentage of degradation at the 40 minutes.

Key words: *ilmenite, kaolin, kaolin-TiO₂, degradation, rhodamine B*

PENDAHULUAN

Perkembangan industri tekstil saat ini menyebabkan terjadinya peningkatan penggunaan zat warna yang berdampak negatif bagi kehidupan manusia seperti pencemaran air, hal ini diakibatkan dari hasil industri tekstil berupa limbah zat warna. Limbah zat warna dari industri tekstil merupakan senyawa organik yang tidak dapat diuraikan (Wijaya *et.al.*, 2005). Zat warna sintetik pada industri

tekstil salah satunya yaitu rhodamin B dimana zat warna sintetik tersebut bersifat toksik dan berbahaya jika tercemar di lingkungan, sehingga dibutuhkan metode untuk penguraian senyawa berbahaya menjadi tidak berbahaya seperti H₂O dan CO₂ sehingga aman jika dialirkan pada lingkungan perairan (Sunardi *et.al.*, 2012). Metode fotodegradasi adalah metode yang efektif dalam degradasi senyawa zat warna berbahaya (Slamet *et.al.*, 2006). Menurut Joshi dan Shirivastva (2010) bahwa

katalis semikonduktor TiO₂ yang baik digunakan untuk metode fotodegradasi dikarenakan energi gap yang dimiliki oleh TiO₂ relatif tinggi yaitu 3,2 eV. Pada penelitian ini sumber TiO₂ diperoleh dari bahan mineral ilmenit yang merupakan mineral sisa dari proses pengolahan timah di Pulau Bangka.

Dalam keadaan murni penggunaan TiO₂ sebagai fotokatalis masih kurang optimal dikarenakan luas permukaannya relatif rendah maka diperlukan upaya untuk meningkatkan luas permukaan dengan menggunakan pengemban berupa material silika alumina (Slamet *et.al.*, 2008). Kaolin merupakan material silika alumina yang terbukti efektif sebagai pengemban dalam proses fotodegradasi. Pengemban TiO₂ pada kaolin menghasilkan material komposit berupa fasa anatase yang memiliki aktivitas fotokatalitik pada degradasi zat warna rhodamin B sebesar 94,7% (Sunardi *et.al.*, 2012)

Pulau Bangka memiliki cadangan kaolin mencapai 205.487,05 ton per tahun (BPPTPM Babel, 2015). Sehingga selain memiliki sumber ilmenit, kaolin Bangka juga berpotensi dioptimalkan karena cadangannya yang melimpah. Sejauh ini belum ada kajian mengenai komposit kaolin-TiO₂ dari ilmenit Bangka sehingga penelitian yang akan dilakukan diharapkan dapat menjadi komposit fotokatalis dalam degradasi zat warna sintetik yang terdapat pada industri tekstil salah satunya adalah rhodamin B

METODOLOGI

Pada penelitian ini dilakukan sintesis dan karakterisasi komposit kaolin-TiO₂ dari ilmenit Bangka.

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah ilmenit dari Bidang Pengolahan Mineral (BPM) Unit Metalurgi PT. Timah (Persero) Tbk., Mentok, Bangka Belitung, kaolin dari Kabupaten Bangka Tengah, Bangka Belitung, HCl 37% p.a, akuades, etanol absolut p.a dan larutan rhodamin B.

Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah gelas beaker, corong, gelas ukur, labu ukur, erlenmeyer, neraca analitik, *hotplate*, pengaduk magnetik, oven, *furnace*, cawan porselin, ayakan 100 *mesh*, pipet volume, termometer, botol sampel, spatula, *discmill*, *X-Ray Fluorescence* (XRF) merk *Panalytical type AXIOS*, XRD merk *X-Ray Diffraction pattern Rigaku Miniflex 600 D/teX ultra 1 D*, FTIR merk

Bruker Alpha with ZnSe beam plitter, dan Spektrofotometer UV-Vis merk *Agilent Carry 60*.

Prosedur

Preparasi TiO₂ dari Ilmenit Bangka

Sejumlah ilmenit dipisahkan dari pengotor menggunakan separator magnetik. Kemudian ilmenit dimasukkan kedalam *discmill* dan karakterisasi dengan XRF. Sampel hasil kemudian dilakukan *leaching* asam menggunakan HCl 37% dengan perbandingan ilmenit:HCl 1:4 (b/b) dan diaduk dan dipanaskan selama 5 jam. Kemudian endapan dilakukan pencucian dengan akuades untuk menghilangkan sisa asam dan dikeringkan pada suhu 100°C. Lalu dikalsinasi dengan suhu 600°C, 700°C, dan 800°C selama 5 jam dikarakterisasi dengan XRD (Indrawati dkk., 2014; Solihin dkk., 2012; Oediyani dkk., 2014).

Preparasi Kaolin

Kaolin dicuci dan dikeringkan serta dihaluskan. Setelah itu, kaolin dicampur dengan HCl 5 M dengan perbandingan kaolin:HCl 1:10 (b/v) dan diaduk dengan pengaduk magnetik selama 6 jam. Selanjutnya sampel tersebut dicuci, dinetralkan sampai pH akuades, dan dikeringkan pada suhu 100°C selama 24 jam. Kaolin aktivasi diayak dengan ayakan 100 mesh dan dikarakterisasi dengan XRD (Nurhadini *et.al.*, 2019)

Sintesis Komposit Kaolin-TiO₂ dari Ilmenit

Sebanyak 3 gram ilmenit dilarutkan kedalam 5 mL etanol (larutan 1). Kaolin aktivasi dilakukan variasi massa 0,2; 0,4; dan 0,6 gram. Masing-masing variasi massa ditambahkan kedalam 30 mL etanol dan 0,6 mL akuades sambil diaduk dan dipanaskan selama 1 jam (larutan 2). Larutan 1 diteteskan perlahan kedalam larutan 2 sambil diaduk dan dipanaskan selama 2 jam dengan suhu 80°C. Setelah itu komposit disentrifugasi dan dicuci menggunakan akuades lalu disentrifugasi kembali. Komposit tersebut dikeringkan selama 6 jam pada suhu 100°C kemudian dikalsinasi selama 3 jam pada suhu 500°C (Li *et.al.*, 2018; Sari, 2017).

Fotodegradasi Zat Warna Rhodamin B

Sebanyak 25 mL larutan rhodamin B dengan konsentrasi 20 ppm masing-masing dimasukkan kedalam enam buah gelas beker. Kedalam tiga gelas beker ditambahkan sebanyak 150 mg komposit kaolin-TiO₂, tiga gelas beker lainnya dimasukkan tanpa katalis

dan kemudian diradiasikan dengan sinar UV-C. Variasi waktu yang digunakan saat degradasi adalah 20, 40, dan 60 menit pada masing-masing gelas beker yang berisi rhodamin B tanpa katalis dan adanya katalis. Setelah diradiasi dengan sinar UV-C, kemudian dipisahkan endapan dan filtrat. Kemudian dilakukan pengukuran absorbansi pada filtrat dengan spektrofotometer UV-Vis. Banyaknya zat warna yang terdegradasi yaitu selisih dari konsentrasi pada absorbansi awal (Sunardi *et.al.*, 2012).

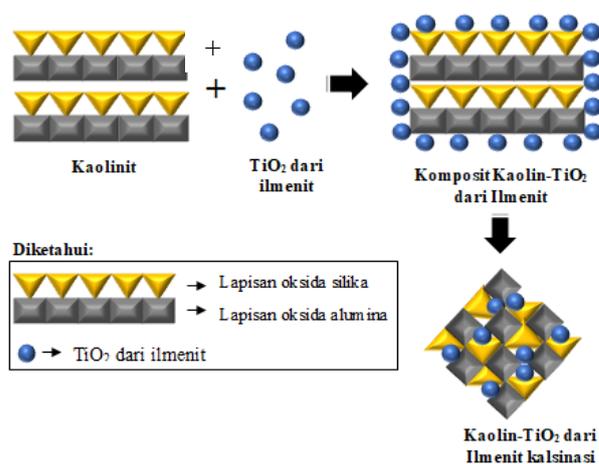
HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Komposit Kaolin-TiO₂ dari ilmenit

TiO₂ dari ilmenit yang diimbangkan dengan kaolin akan menyebabkan bertambah luasnya permukaan dari fotokatalis (Fatimah, 2005). Kaolin memiliki gugus hidroksi yang melimpah pada suatu permukaan digunakan untuk pengemban suatu material TiO₂ dengan tujuan untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitik (Li *et.al.*, 2018).

Proses sintesis kaolin-TiO₂ dari ilmenit menggunakan metode presipitasi. Pelarut yang digunakan yaitu etanol yang dapat menghilangkan pengotor organik pada ilmenit. TiO₂ yang telah ditambahkan etanol kemudian ditetesi sedikit demi sedikit kedalam kaolin suspensi, proses ini merupakan pendispersian TiO₂ kedalam pori-pori kaolin. Kemudian diaduk menggunakan pengaduk magnetik pada suhu 80°C sehingga difusi TiO₂ ke dalam pori-pori kaolin berlangsung lebih cepat. Pembuatan komposit dilakukan menggunakan 3 variasi massa kaolin untuk mengetahui massa optimum dari kaolin pada sintesis komposit kaolin-TiO₂ dari ilmenit.

Ikatan yang terjadi pada komposit yaitu gaya *Van Der Waals* (Borgonovo, 2010). Gaya *Van Der Waals* terjadi karena muatan negatif pada kaolin dan muatan pada TiO₂ saling tarik-menarik membentuk suatu *boundary* (area batas). Molekul yang tertarik secara elektrostatik mengalami difusi *brown* yang masuk ke sela-sela kaolin. Ilustrasi proses sintesis kaolin-TiO₂ dari ilmenit disajikan pada gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi proses sintesis komposit kaolin-TiO₂ dari ilmenit (Mishra *et.al.*, 2018)

Karakterisasi Sintesis Kaolin-TiO₂ dari Ilmenit Bangka

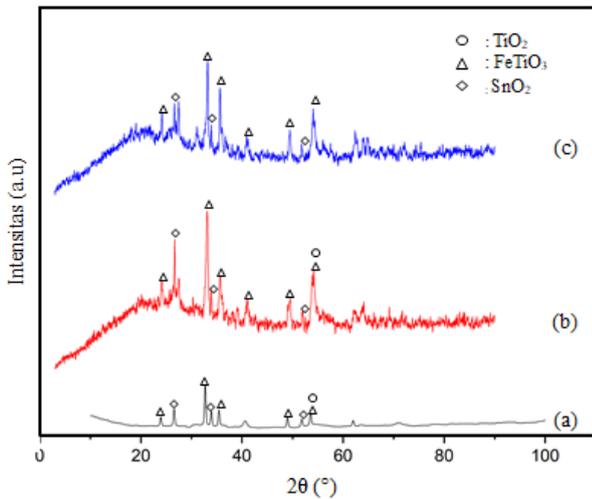
Analisis XRF dilakukan untuk mengetahui komposisi senyawa penyusun ilmenit. Tabel 1 merupakan hasil analisis XRF pada ilmenit.

Tabel 1. Hasil Analisis XRF pada Ilmenit

Komposisi	Ilmenit	Ilmenit (Separator magnetik)	Ilmenit (Leaching HCl)
TiO ₂ (%)	0,33	69,98	77,26
Fe (%)	2,86	47,39	36,26
Sn (%)	58,97	3,32	3,90
SiO ₂ (%)	1,03	5,067	12,84
CaO (%)	1,65	2,08	2,69
Al ₂ O ₃ (%)	2,51	1,79	5,61

Berdasarkan Tabel 1 dapat diamati bahwa preparasi ilmenit dari tahap pemisahan magnetik dan *leaching* HCl menunjukkan kadar TiO₂ meningkat. Saat *leaching* HCl menunjukkan kadar TiO₂ meningkat dan kadar Fe menurun. Hal ini dikarenakan sebagian ilmenit terlarut menjadi FeCl₂ dan TiOCl₂, sedangkan yang tidak terlarut menunjukkan padatan kaya Ti karena ilmenit telah mengalami pengurangan kandungan Fe (Wahyuningsih *et.al.*, 2014).

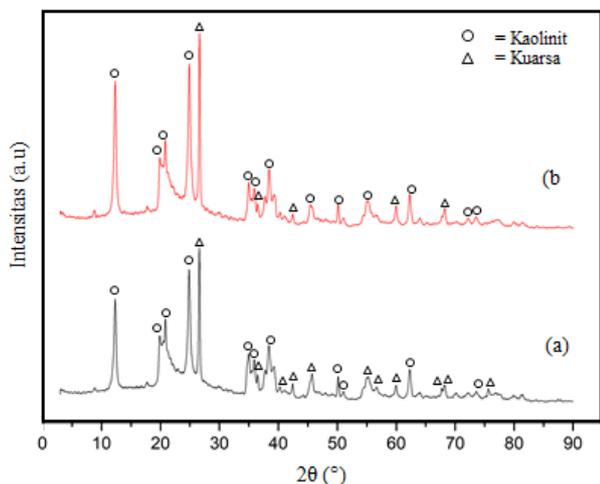
Pada sampel ilmenit setelah *leaching* dilakukan variasi suhu kalsinasi 600°C, 700°C dan 800°C. Proses ini dilakukan untuk melihat temperatur optimum dari ketiga variasi suhu tersebut. Hasil difraktogram XRD dari ketiga variasi suhu tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Difraktogram XRD ilmenit kalsinasi (a) 600°C, (b) 700°C dan (c) 800°C

Pada Gambar 2 dapat diketahui bahwa suhu kalsinasi 700°C memiliki intensitas yang paling tinggi dibandingkan suhu kalsinasi 600°C dan pada suhu kalsinasi 800°C tidak terdapat puncak TiO₂ anatase. Hal ini menunjukkan pada suhu kalsinasi 700°C memiliki derajat kristalinitas yang tinggi (Hastuti, 2011). Puncak-puncak difraksi FeTiO₃ dari suhu kalsinasi 700°C terdapat pada daerah 2θ = 35,60°; 41,06°; 49,47° dan 53,92°. Analisis data XRD ini dilakukan dengan membandingkan nilai 2θ ilmenit pada *database* ICDD No. 01-075-1211. Pada puncak difraksi XRD ilmenit 700° menunjukkan adanya puncak TiO₂ anatase pada 2θ = 53,92°, hal ini berdasarkan data JCPDS No. 78-2486 untuk anatase. Namun, puncak TiO₂ yang muncul tidak dominan karena masih banyaknya unsur Ti yang berikatan dengan mineral lain seperti FeTiO₃.

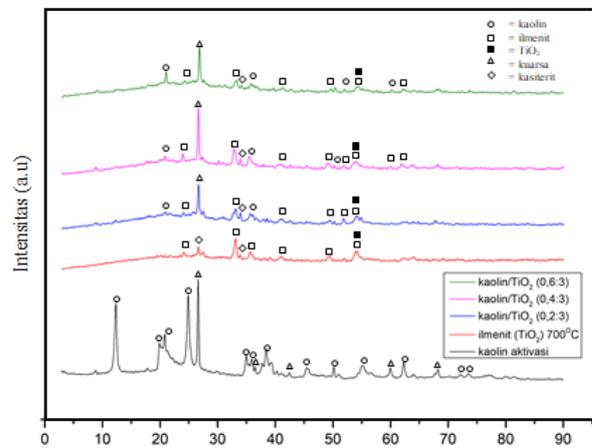
Kaolin aktivasi dilakukan analisis XRD untuk melihat fasa kaolinit yang terbentuk. Analisis data XRD aktivasi kaolin dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Difraktogram XRD (a) sebelum dan (b) sesudah aktivasi kimia

Pada Gambar 3 dapat diamati bahwa sampel kaolin sebelum dan sesudah menunjukkan pola difraksi dan intensitas dari XRD. Dari kedua sampel tersebut menunjukkan pola difraksi yang hampir sama pada setiap puncak. Puncak difraksi tertinggi pada kaolin aktivasi kimia adalah kuarsa, namun jika dilihat dari Gambar 3 bahwa puncak khas kaolinit dari kaolin setelah aktivasi kimia lebih dominan daripada kuarsa, puncak difraksi khas kaolinit terdapat pada 2θ = 12,35°; 19,85°; 20,49°; 24,89°; dan 38,43° berdasarkan ICDD No. 00-029-1488.

Analisis data sintesis komposit kaolin-TiO₂ dari ilmenit dapat dilihat difraktogram pada Gambar 4.

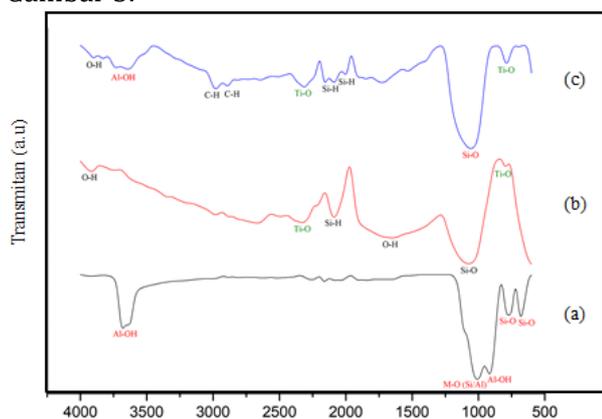


Gambar 4. Perbandingan difraktogram kaolin, TiO₂ dari ilmenit dan kaolin-TiO₂

Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa semua komposit memiliki struktur fasa dari ilmenit, TiO₂, kaolin, kuarsa dan kasiterit. Pola XRD yang menunjukkan difraktogram TiO₂ anatase dengan 3 variasi kaolin 0,2; 0,4; dan 0,6 gram secara berturut-turut pada 2θ = 54,03°; 53,78°; dan 54,17°. Dari ketiga variasi massa kaolin tersebut yang memiliki intensitas paling tinggi terdapat pada komposit dengan variasi kaolin-TiO₂ dari ilmenit yaitu pada komposisi 0,4:3 (b/b). Pada komposit (0,4:3) memiliki puncak difraksi TiO₂ anatase terdapat pada 2θ = 53,78° dan puncak difraksi ilmenit pada daerah 2θ sekitar 23,94°; 32,80°; 40,39°; 51,80° dan 53,78°. Untuk puncak difraksi kaolin pada komposisi kaolin-TiO₂ (0,4:3) terdapat pada daerah 2θ = 20,85°; 35,42° dan 50,17°. Akan tetapi, pada komposit kaolin-TiO₂ ini masih mengandung kuarsa dari kaolin. Namun kuarsa tersebut berpotensi memiliki aktivitas yang sama seperti kaolin untuk proses fotodegradasi (Tokarsky *et.al.*, 2013).

Karakterisasi kaolin-TiO₂ dari ilmenit menggunakan FTIR dilakukan untuk mengetahui adanya gugus-gugus fungsional

secara kualitatif. Spektra FTIR dari kaolin, ilmenit, dan komposit yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. FTIR spektrum (a) kaolin aktivasi, (b) ilmenit, dan (c) komposit

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa pada spektrum kaolin menunjukkan adanya serapan khas kaolin yaitu vibrasi ulur Al-OH yang berasal dari OH yang berikatan secara oktahedral dengan Al disekitar 3678 cm^{-1} . Selanjutnya vibrasi ulur M-O (dimana M= Si atau Al) dan vibrasi ulur Al-OH yang secara berturut-turut terdapat pada bilangan gelombang 1003 cm^{-1} dan 916 cm^{-1} . Pita serapan vibrasi ulur Si-O yaitu pada bilangan gelombang 772 cm^{-1} dan 680 cm^{-1} . Adanya kaolinit pada kaolin alam ditandai dengan adanya serapan khas pada bilangan gelombang 3678 cm^{-1} dan 680 cm^{-1} (Nmiri, 2017; Sunardi, 2009; Belver *et.al.*, 2002).

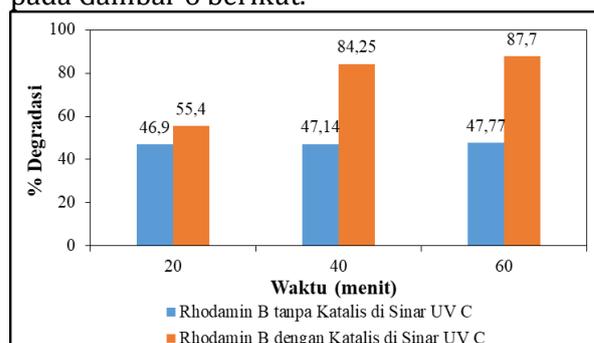
Pada ilmenit menunjukkan adanya serapan khas TiO_2 anatase yaitu vibrasi ulur Ti-O terdapat pada bilangan gelombang 2327 cm^{-1} dan 794 cm^{-1} . Pita serapan dengan rentang bilangan gelombang 2327 cm^{-1} dan 794 cm^{-1} . Pita serapan dengan rentang bilangan gelombang disekitar 400-800 yaitu merupakan vibrasi ulur Ti-O-Ti (Sunardi *et.al.*, 2012; Lu *et.al.*, 2008).

Spektrum dari komposit kaolin- TiO_2 dari ilmenit menunjukkan adanya serapan khas kaolin dan ilmenit. dari hasil spektra IR dibuktikan bahwa kaolinit dan TiO_2 dari ilmenit terbentuk yaitu dengan munculnya serapan pada bilangan gelombang sekitar 3641 cm^{-1} vibrasi ulur Al-OH; bilangan gelombang 2313 cm^{-1} , 788 cm^{-1} vibrasi ulur Ti-O; dan bilangan gelombang 1057 cm^{-1} vibrasi ulur Si-O. Pada spektra komposit adanya pita serapan lemah seperti gugus hidroksil (-OH) dan alkana (C-H). Pada bilangan gelombang 3900 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur O-H dari air (Yuliatun *et.al.*, 2019) dan bilangan gelombang 2979 cm^{-1} ; 2891 cm^{-1}

(gugus alkana) ini berasal dari sisa senyawa organik, yang dimana pada penggunaan etanol saat pencucian komposit belum optimal sehingga masih terdapat gugus-gugus tersebut (Guo *et.al.*, 2007).

Degradasi Zat Warna Rhodamin B

Untuk menentukan waktu penyinaran diawali dengan menambahkan rhodamin B pada konsentrasi 20 ppm karena menurut Sari (2017) bahwa konsentrasi 20 ppm merupakan konsentrasi optimum yang digunakan dalam proses fotodegradasi dan persentase yang didapatkan mencapai 90%, kemudian dipancarkan sinar lampu UV-C tanpa katalis dan menggunakan katalis komposit kaolin- TiO_2 dari ilmenit dengan variasi waktu 20, 40, dan 60 menit, kemudian larutan tersebut diambil dan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum rhodamin B yaitu 555 nm. Hasil dari waktu penyinaran dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Grafik hubungan waktu dan penggunaan katalis dan tanpa katalis terhadap degradasi rhodamin B

Gambar 6 menunjukkan hubungan antara persentase degradasi sinar UV-C dengan waktu penyinaran, berdasarkan grafik tersebut persentase degradasi rhodamin B yang terdegradasi dengan adanya katalis semakin besar hingga 87,7% dibandingkan tanpa katalis sebesar 47,77%. Peningkatan persentase degradasi terbesar ditunjukkan pada menit ke-40 yaitu sebesar 84,25%, namun peningkatan persentase degradasi setelah 40 menit menjadi kecil. Hal ini dikarenakan kemampuan mendegradasi zat warna rhodamin B pada katalis kaolin- TiO_2 dengan penyinaran UV sudah mencapai optimum (Agusruyanti, 2015).

KESIMPULAN

Komposisi optimum yaitu pada komposit kaolin- TiO_2 (0,4:3). Karakterisasi komposit kaolin dan TiO_2 yaitu memiliki fasa kaolinit

pada $2\theta = 20,85^\circ$; $35,42^\circ$ dan $50,17^\circ$ dan TiO₂ anatase pada $2\theta = 53,78^\circ$ berdasarkan data XRD dan adanya serapan khas pada bilangan gelombang 3641 cm^{-1} yaitu vibrasi ulur Al-OH, bilangan gelombang 1057 cm^{-1} yaitu vibrasi ulur Si-O, bilangan gelombang 2313 cm^{-1} dan 788 cm^{-1} yaitu vibrasi ulur Ti-O berdasarkan data FTIR. Komposit kaolin-TiO₂ mampu mendegradasi rhodamin B hingga 87,7% dengan peningkatan persentase degradasi terbesar pada menit ke-40.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Dosen Pembimbing, dan pihak Laboratorium Analisis atas bantuan penggunaan alat dan bahan, serta bantuan analisis.

REFERENSI

- Agusriyanti, S. (2015). Pemanfaatan Zeolit Alam Ciamis sebagai Pengemban Fotokatalis TiO₂ untuk Fotodegradasi Zat Warna Rhodamin B. *Jurnal Sains Dasar*, 4 (1), 92-99.
- Belver, C., Munoz, M. A. B. & Vicente, M. A. (2002). Chemical Activation of Kaolinit Under Acid and Alkaline Conditions. *Chem. Mater.* Vol. 14, 2033-2043
- Borgonovo, Cecilia. (2010). Alumunium Nano-composites for Elevated Temperature Applications. Tesis Tidak Diterbitkan. USA: Material Science and Engineering. Worcester Polytechnic Institute. Worcester
- BPPTPM Babel. (2015). Sektor Pertambangan Provinsi Bangka Belitung, <http://bpptpm.babelprov.go.id/content/sektor-pertambangan>. 2019.10.29
- Fatimah, I. Wijaya, K. (2005). Sintesis TiO₂/Zeolit sebagai Fotokatalis pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tapioka secara Adsorpsi-Fotodegradasi. *TEKNOIN*, No. 4, Vol 10.
- Guo, G. S., He, C. N., Wang, Z. H., Gu, F. B., Han, D. M. (2007). Synthesis of Titania and Titanate Nanomaterials and Their Application in Environmental Analytical Chemistry. *Talanta*, 72(5), 1687-1692.
- Indrawati T, Siswanto, Rochman, N. T. (2014). Ekstraksi Titanium Oksida (TiO₂) Berbahan Baku Limbah Peleburan Pasir Besi (Slag) dengan Metode Kaustik, *Jurnal Fisika dan Terapannya*, No. 2, Vol. 2.
- Li, X., Peng, K., Chen, H., and Wang, Z. (2018). TiO₂ Nanoparticles Assembled on Kaolinites with Different Morphologies for Efficient Photocatalytic Performance. *Scientific Reports*, 8, 11663.
- Lu, X., Lv, X., Sun, Z., Zheng, Y. (2008). Nanocomposite of Poly(L-lactide) and Surface-Grafted TiO₂ Nanoparticles: Synthesis and Characterization. *Eur Polym. J.*, 44, 2476-2481.
- Mishra, A., Mehta, A., Basu, S. (2018). Clay Supported TiO₂ Nanoparticles for Photocatalytic Degradation of Environmental Pollutants: A Review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*.
- Nmiri, A., Hamdin, N., Marzouk, Y. O., Duc, M, Srasra, E. (2017). Synthesis and Charaterization of Kaolinite-Based Geopolymer: Alkaline Aprotic Solvent. *Bioinorganic Chemistry and Applications*. pp. 1-9.
- Nurhadini, Asriza R. O., Ayu K, Anggraeni. (2019). Pengaruh Metode Aktivasi Kimia Terhadap Sifat Kaolin. Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat. Bangka.
- Oediyani S, Akbar R, Milandia A. (2014). Ekstraksi TiO₂ Pasir Besi Rancecet-Pandeglang Melalui Proses Leaching HCl. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri*. 95, 1-8.
- Sari, I. Y. (2017). Uji Fotodegradasi Zat Warna Rhodamin B menggunakan TiO₂-Zeolit dengan Perlakuan Aerasi Sederhana. *Skripsi. Fakultas Sains dan Teknologi*. UIN Sunan Kalijaga. Yogyakarta.
- Slamet, Bismo S, Arbianti R, Sari Z. (2006). Penyisihan Fenol Dengan Kombinasi Proses Adsorpsi dan Fotokatalisis Menggunakan Karbon Aktif dan TiO₂. *Jurnal Teknologi*. No.4.
- Slamet, Ellyana, M Bismo, S. (2008). *Modifikasi Zeolit Alam Lampung dengan Fotokatalis TiO₂ melalui Metode Sol Gel dan Aplikasinya untuk Penyisihan Fenol*. Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Solihin, Ciptasari, N. I., Arini T. (2012). Pembuatan Titanium Dioksida dengan Medium Klorida. *Majalah Metalurgi*. Hal: 127-134.
- Sunardi dan Arryanto, Y. (2009). *Purifikasi dan Karakterisasi Kaolin Alam Asal Tatakan Tapin Kalimantan Selatan*. Fakultas MIPA. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Sunardi, Irawati, U., Sybianti, N. R. (2012). Sintesis dan Karakterisasi Komposit Kaolin-TiO₂ sebagai Fotokatalis untuk Degradasi Zat Warna Rhodamin B, *Sains dan Terapan Kimia*, No.2, Vol.6, 118 – 129. Banjarbaru.
- Tokarsky, J., Matejka, V., Neuwirthova, L., Vontorova, J., Kutlakova, K. M., Kukutschova,

- J., dan Capkova, P. (2013). A Low-Cost Photoactive Composite Quartz Sand/TiO₂. *Chemical Engineering. J*, 488-497.
- Wahyuningsih, S., H Hidayatullah., E, Pramono., S. B, Rahardjo., A. H, Ramelan., F, Firdiyono., dan E, Sulistiyono. (2014). Optimasi Pemisahan TiO₂ dari Ilmenite Bangka dengan Proses Leaching Menggunakan HCl. *Jurnal Penelitian Kimia*, Vol. 10, No. 1, 54-68.
- Wijaya, K., I, Tahir., N, Haryati. (2005). Sintesis Fe₂O₃-Monmorilonit dan Aplikasinya sebagai Fotokatalis untuk Degradasi Zat Pewarna *Congo Red*. *Indo J Chem*, 5(1). 41-47.
- Yuliatun, L., Riyawati, A., Nuryono. (2019). Silika Bebas Natrium dari Limbah Sekam Padi sebagai Bahan Dasar Pembuatan Mineral Trioxide Aggregate. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan*