

**KAJIAN FOTODEGRADASI METHYL ORANGE DENGAN MENGGUNAKAN
KOMPOSIT TiO₂-MONTMORILLONIT**

**STUDY OF METHYL ORANGE PHOTODEGRADATION USING
TiO₂-MONTMORILLONITE COMPOSITE**

Afid Aryanto* dan Irwan Nugraha

*Program Studi Kimia, Fakultas Sains & Teknologi, UIN Sunan Kalijaga, Yogyakarta
Jl. Marsda Adisucipto Yogyakarta 55281*

*email: afidaryanto@yahoo.com

ABSTRAK

Komposit TiO₂-Montmorillonit (Ti-MMT) telah disintesis dengan tujuan untuk meningkatkan kemampuan fotokatalis TiO₂ mendegradasi *methyl orange*. Sintesis komposit dilakukan dengan mencampurkan TiO₂ dan montmorillonit pada larutan etanol, kemudian dipanaskan dengan menggunakan *furnace* pada temperatur 450 °C selama 5 jam. Komposit TiO₂-MMT dikarakterisasi dengan FT-IR, XRD dan SAA. Uji aktivitas fotodegradasi komposit TiO₂-MMT dilakukan terhadap zat warna *methyl orange* 8 mg/L dengan variasi waktu penyinaran sinar UV dan massa komposit TiO₂-MMT. Fotodegradasi dengan sinar UV dilakukan dalam reaktor UV *black light* 365 nm 10 watt 220 volt. Hasil fotodegradasi menunjukkan kemampuan aktivitas komposit TiO₂-MMT secara optimal terjadi pada waktu penyinaran UV selama 330 menit dengan *methyl orange* yang terdegradasi sebanyak 81,4 % dan reaksi fotodegradasi tanpa sinar UV dihasilkan *methyl orange* yang terdegradasi sebanyak 33,25 %. Massa optimum komposit Ti-MMT yang digunakan untuk mendegradasi *methyl orange* adalah sebesar 200 mg; dengan *methyl orange* yang terdegradasi sebanyak 89,3 % untuk fotodegradasi yang menggunakan sinar UV dan 87,3 % untuk fotodegradasi yang tidak menggunakan sinar UV.

Kata Kunci: Fotodegradasi, komposit TiO₂-montmorillonit, *methyl orange*.

ABSTRACT

Composite TiO₂-montmorillonite (Ti-MMT) has been synthesized with the aim to improve the ability of TiO₂ photocatalysts degrade methyl orange. Synthesis of composite made by mixing TiO₂ and montmorillonite in ethanol solution, then heated using the furnace at a temperature of 450 °C for 5 hours. TiO₂-MMT composites were characterized by FT-IR, XRD and SAA. Test photodegradation activity of TiO₂-MMT composites made to dye Methyl Orange 8 mg / L with UV light irradiation time variation and mass-MMT composite TiO₂. Photodegradation with UV rays performed in reactor 365 nm UV black light 10 watt 220 volt Gold Star. Photodegradation results demonstrate the ability of the composite activity of TiO₂-MMT optimally occur at the time of UV irradiation for 330 minutes with methyl orange degraded as much as 81.4% and photodegradation reaction without UV rays generated methyl orange degraded as much as 33.25%. The optimum mass of Ti-MMT composites were used to degrade methyl orange is equal to 200 mg; Methyl Orange degraded by as much as 89.3% to photodegradation using UV light and 87.3% for photodegradation not use UV rays.

Keywords: composite TiO₂-montmorillonite, photodegradation, methyl orange.

PENDAHULUAN

Limbah zat warna yang dihasilkan dari industri tekstil umumnya merupakan senyawa organik *non-biodegradable*, yang merupakan penyebab pencemaran lingkungan terutama lingkungan perairan karena bersifat karsinogenik. *Methyl orange* merupakan salah satu zat warna yang mengandung struktur azo ($-N=N-$) memiliki sifat karsinogenik dan mutagenik, sehingga perlu adanya pengolahan untuk mendegradasi senyawa tersebut (Cristina, *et. al.*, 2007). Upaya yang dilakukan adalah dikembangkan metode fotodegradasi dengan bahan fotokatalis dan radiasi sinar ultraviolet (Wijaya, *et. al.*, 2006).

Fotokatalis yang dapat digunakan untuk proses fotodegradasi harus memiliki keunggulan seperti aktivitas katalitik tinggi, tidak toksik, memiliki stabilitas kimia tinggi dan murah. Fotokatalis yang memenuhi ketiga syarat tersebut adalah titania (TiO_2). Fotokatalis TiO_2 tidak lagi sebagai bahan murni melainkan diimbangkan pada suatu material pendukung seperti karbon aktif atau zeolit, dan dalam bentuk material kompositnya (Wijaya, *et al.*, 2002). Oleh karena itu, perlu adanya adsorben yang lebih sederhana dan mempunyai daya adsorpsi yang baik, salah satunya adalah bentonit (Priatmoko dan Najiyana, 2006).

Bentonit merupakan jenis material yang tersusun oleh kerangka alumino silikat, membentuk struktur lapis dan merupakan penukar kation yang baik. Kandungan utama dari bentonit adalah montmorillonit, adanya rongga pada montmorillonit menyebabkan luas permukaan sangat besar dapat mencapai 700-800 m^2/g . Aktivasi bentonit secara kimia dapat ditingkatkan dengan menggunakan asam, yang secara luas diaplikasikan sebagai katalis dan adsorben (Kooli and Jones, 1997). Aktivasi secara fisika dapat dilakukan dengan pemanasan pada suhu tinggi pemanasan di atas suhu 500-700 °C

menyebabkan proses penge-luaran molekul air sehingga dua gugus OH^- yang berdekatan saling melepaskan satu molekul air (Prasetya, 2004). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja komposit TiO_2 -montmorillonit dalam proses fotodegradasi *methyl orange*. Penelitian ini juga dilakukan untuk mengetahui interaksi antara TiO_2 dengan montmorillonit dalam proses pembentukan komposit TiO_2 -montmorillonit. Pengembangan TiO_2 terhadap montmorillonit bertujuan untuk mencegah terbentuknya agregat-agregat TiO_2 yang dapat mengurangi efisiensi fotodegradasi *methyl orange*.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian adalah *methyl orange* ($C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$) (p.a), Na-Bentonit, TiO_2 P25 *Degussa*, akuades, larutan etanol 99% (p.a), dan larutan HCl 37%. Instrumen yang digunakan dalam penelitian Spektrofotometer UV-Vis *Hitachi* U-1800, *Fourier Transform Infrared Spectrophotometry* (FTIR) *Thermo Nicolet Avatar* 360, *X-Ray Diffraction* (XRD) *Shimadzu* 6000 dan *Surface Area Analyzer* (SAA).

Cara Kerja

Pemurnian Montmorillonit dengan Metode *Siphoning*

Sampel lempung bentonit *raw material* diayak menggunakan saringan (*molecular sieve*) 106 Mikron. Sampel lempung bentonit dimasukkan ke dalam gelas kimia dan ditambahkan akuades, dengan perbandingan bentonit-akuades 1:20 b/v. Suspensi kemudian diaduk selama 3 jam pada temperatur kamar. Setelah diaduk disimpan selama 1 jam dengan tujuan untuk mengendapkan fraksi kasar yang terdiri dari kuarsa, *feldspar* dan material lain yang tidak diinginkan. Setelah disimpan, supernatan dipisahkan

dari endapan dengan menggunakan teknik *siphoning*.

Fraksi endapan setelah 1 jam di masukkan ke dalam gelas kimia kedua dan simpan selama 24 jam. Fraksi endapan setelah 24 jam kemudian diendapkan dengan menggunakan *sentrifuge* selama 10 menit.

Prosedur Sintesis Fotokatalis TiO₂-Montmorillonit

Montmorillonit sebanyak 10 g diaktivasi dengan 100 mL larutan HCl 1 M. Kemudian campuran diaduk menggunakan *magnetic stirer* selama 24 jam. Selanjutnya campuran disaring dan residu dicuci dengan akuades sampai filtrat yang diperoleh netral dan bebas ion klorida. Residu yang diperoleh kemudian dikeringkan pada temperatur 110 °C menggunakan oven. Setelah itu montmorillonit teraktivasi yang telah kering disimpan dan di karakterisasi dengan FT-IR dan XRD.

Sintesis Komposit TiO₂-Montmorillonit

Sebanyak 2 g montmorillonit teraktivasi ditambah dengan 1,6 g TiO₂ dan 10 mL etanol. Kemudian campuran tersebut diaduk selama 5 jam menggunakan *magnetic stirer*. Selanjutnya endapan dikeringkan menggunakan oven pada temperatur 110 °C. Setelah itu padatan digerus dan diayak hingga ukuran 106 Mikron. Serbuk halus hasil ayakan dipanaskan dalam *furnace* pada temperatur 450 °C selama 5 jam. Fotokatalis TiO₂-Montmorillonit yang terbentuk di karakterisasi dengan FT-IR, XRD dan SAA.

Fotodegradasi Larutan Methyl Orange Variasi Waktu Penyinaran

Sebanyak 25 mL larutan *methyl orange* 8 mg/L ditambahkan 65 mg TiO₂-Montmorillonit. Kemudian larutan disinari lampu UV-Vis selama 30, 60, 90, 120, dan 150 menit sambil dilakukan pengadukan dengan kecepatan 60 rpm. Kemudian

campuran *disentrifuge* untuk memisahkan suspensi komposit TiO₂-Montmorillonit dengan *methyl orange*. Suspensi komposit TiO₂-Montmorillonit, filtrat yang merupakan larutan *methyl orange* kemudian dianalisis dengan menggunakan spektrometer UV-Vis. Pengujian diatas dilakukan juga terhadap komposit TiO₂-Montmorillonit tanpa penyinaran UV sebagai pembanding.

Fotodegradasi Methyl Orange dengan Pengaruh Massa TiO₂-Montmorillonit

Larutan *methyl orange* 8 mg/L sebanyak 25 mL variasi TiO₂-Montmorillonit 20, 65, 110, 155, 200, 245, dan 290 mg disinari UV-Vis pada waktu optimum dari pengaruh waktu penyinaran. Lalu larutan dianalisis absorbansinya dengan spektrometer UV-Vis dan pengujian di atas juga dilakukan juga terhadap komposit TiO₂-Montmorillonit tanpa sinar UV sebagai pembanding.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemurnian Montmorillonit dengan Metode *Siphoning*

Montmorillonit dapat mengembang (*swelling*) dan memiliki kation-kation yang dapat ditukarkan (*exchangeable cations*) serta dapat diinterkalasi (*intercalated*) (Pinnavaia, 1983). Sehingga untuk memperoleh montmorillonit dengan kadar yang tinggi perlu digunakan suatu metode, yakni metode sedimentasi dan teknik *shiponing* (Nugraha, *et al.*, 2013). Teknik *Siphoning* adalah suatu metode fraksinasi yang didasarkan pada perbedaan berat jenis dari material-material yang terdapat dalam bentonit dan bertujuan untuk menghilangkan mineral pengotor seperti kuarsa dan feldspar (Nugraha dan Somantri, 2013). Berdasarkan data XRD menunjukkan montmorillonit hasil metode *shiponing* masih mengandung kuarsa dan feldspar. Puncak kuarsa ada pada $2\theta = 21,68^\circ$ ($d = 4,10 \text{ \AA}$) sedangkan untuk puncak feldspar ada pada $31,75^\circ$ ($d = 2,82$

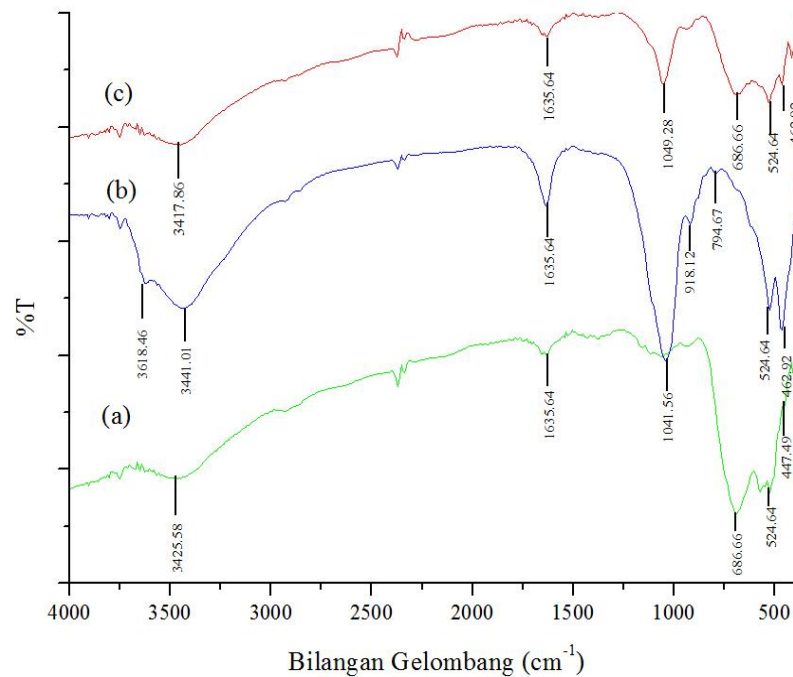
Å). Hasil SAA menghasilkan luas permukaan sebesar 66,383 m²/g.

Montmorillonit hasil teknik *Siphoning* diaktivasi dengan HCl 1 M yang bertujuan agar diperoleh montmorillonit dengan aktivitas yang tinggi daripada tanpa diaktivasi. Sedangkan berdasarkan data FTIR bilangan gelombang 1458 cm⁻¹ ada pada montmorillonit alam sedangkan pada montmorillonit teraktivasi tidak muncul bilangan gelombang tersebut yang merupakan vibrasi ulur asimetris Si-O atau Al-O pada SiO₄. Sedangkan berdasarkan hasil karakterisasi XRD montmorillonit teraktivasi pada $2\theta = 6,09^\circ$ ($d = 14,48 \text{ \AA}$)

mengalami pergeseran menjadi $5,66^\circ$ ($d = 15,601 \text{ \AA}$). Montmorillonit teraktivasi mengandung sebagian besar montmorillonit dan sedikit kuarsa.

Komposit TiO₂-Montmorillonit

Preparasi komposit TiO₂-Montmorillonit dilakukan dengan cara pencampuran antara Montmorillonit, TiO₂ P25 *degussa* dan larutan etanol dengan perbandingan 10: 0,8 : 5. Komposit TiO₂-Montmorillonit yang dihasilkan dikarakterisasi dengan FTIR, XRD dan SAA. Hasil FTIR dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Spektrum Inframerah (a) TiO₂ *Deggusa* (b) Monmorillonit Teraktivasi dan (c) Komposit TiO₂-Montmorillonit.

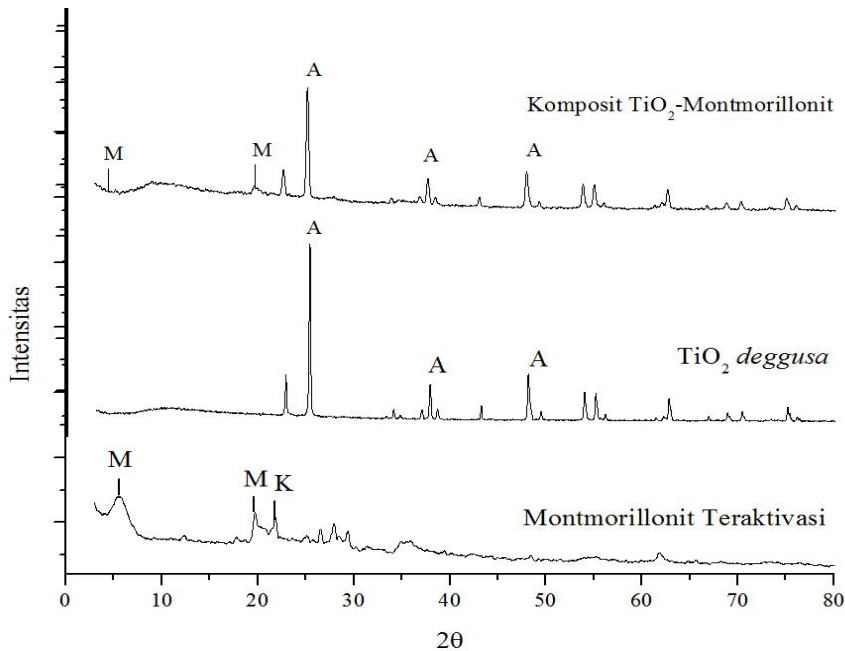
Gambar 1 menunjukkan Serapan khas montmorillonit berada di bilangan gelombang 3626 cm⁻¹ dan 3448 cm⁻¹ yang menunjukkan serapan vibrasi OH dari ikatan Mg-O-Al dan Al-OH-Al, kemudian serapan disekitar 1049 cm⁻¹ yang merupakan serapan vibrasi rengang Si-O-Si yang mengalami pergeseran dan pelebaran serapan. Serta pada bilangan gelombang 3417 cm⁻¹ yang merupakan serapan OH rengan dari OH oktahedral dan atau H₂O. Serapan pada bilangan

gelombang 1635 cm⁻¹ yang merupakan serapan Ti-O dan serapan pada bilangan gelombang 462-686cm⁻¹ adalah serapan dari Ti-O-Ti.

Berdasarkan hasil analisis menggunakan FTIR terhadap komposit TiO₂-Montmorillonit tidak ditemukan ikatan antara Si-Ti, sehingga dapat disimpulkan berdasarkan data spektra inframerah interaksi yang terjadi adalah interaksi secara fisik.

Hasil Karakterisasi XRD untuk komposit TiO₂-Montmorillonit dapat dilihat pada **Gambar 2**. **Gambar 2** menunjukkan bahwa struktur kristal TiO₂ pada komposit tidak jauh berbeda dengan struktur kristal TiO₂ P25 *deggusa*, dimana puncak difraksi komposit TiO₂-Montmorillonit untuk puncak khas montmorillonit ada pada $2\theta = 5,66^\circ$ dan $19,62^\circ$. Berdasarkan data yang diperoleh bahwa ciri dari bidang kristal TiO₂ anatase ada pada $2\theta = 25,26^\circ$; $37,74^\circ$; dan 48° . difratogram komposit TiO₂-Montmorillonit menunjukkan puncak-puncak yang sesuai

dengan puncak yang karakteristik untuk TiO₂. Hal ini membuktikan bahwa imobilisasi TiO₂ pada permukaan montmorillonit tidak mengubah kristalinitas TiO₂, sehingga aktivitas fotokatalisnya tidak berkurang serta menghasilkan TiO₂ dengan fase anatase. Untuk montmorillonit pada $2\theta = 5,66^\circ$ tidak mengalami pergeseran pada komposit TiO₂-Montmorillonit. Jadi dapat disimpulkan bahwa interaksi antara TiO₂ dengan montmorillonit hanya terjadi dipermukaan montmorillonit.



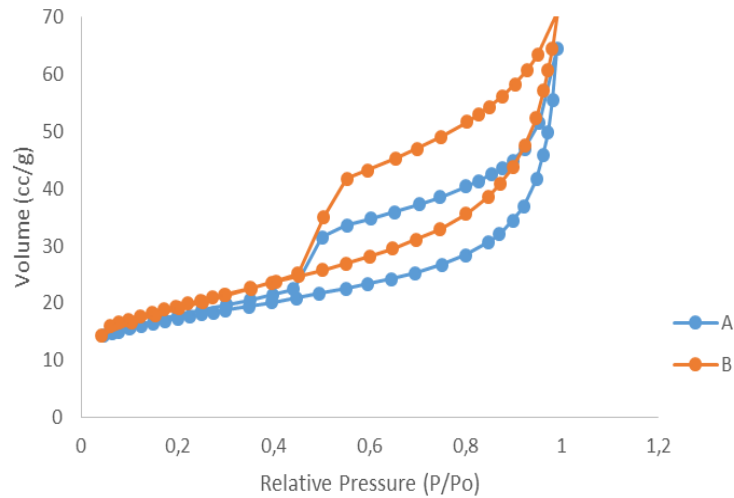
Gambar 2. Spektra Difraktogram Montmorillonit Teraktivasi, TiO₂ P25 *Deggusa*, komposit TiO₂-Montmorillonit dengan (A) anatase, (M) Montmorillonit dan (K) Kuarsa.

Berdasarkan karakterisasi SAA komposit TiO-Montmorillonit mengenai luas area spesifik, volume total pori dan rerata jejari pori komposit TiO₂-Montmorillonit. Analisis SAA ini didasarkan atas proses adsorpsi dan desorpsi gas nitrogen dari montmorillonit dan komposit TiO₂-Montmorillonit. Luas permukaan speifik komposit TiO₂-Montmorillonit sebesar 57,286 m²/g, volume total pori 0,09968 cc/g dan rerata jejari pori sebesar 34,8014 Å. Adapun

aplikasi Isoterem Brunair-Emmet-Teller (BET) untuk mengidentifikasi porositas material montmorillonit dan komposit TiO₂-Montmorillonit dapat dilihat pada **Gambar 3**.

Berdasarkan **Gambar 3** yang menunjukkan bahwa isoterm adsorpsi montmorillonit dan TiO₂-Montmorillonit sesuai dengan pola isoterm adsorpsi-desorpsi tipe ke-IV yang berarti adsorpsi pada permukaan mesopori memberikan kecenderungan terjadi melalui pembentu-

kan *multilayer* diikuti dengan kondensasi kapiler (Fatimah, 2013).



Gambar 3. Isotermal Adsorpsi-Desorpsi (A) Montmorillonit dan (B) komposit TiO₂ - Montmorillonit.

Aktivitas Komposit TiO₂-Montmorillonit terhadap *Methyl Orange*

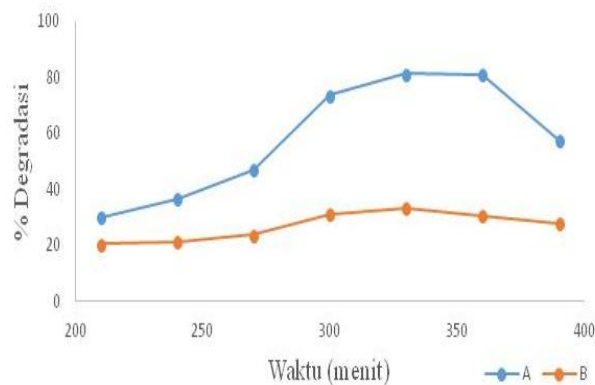
Panjang gelombang maksimum untuk larutan *methyl orange* 8 ppm pada range panjang gelombang 400-600 nm adalah 463,5 nm dengan absorbansi 0,553. Berdasarkan data kurva kalibrasi larutan *methyl orange* ditunjukkan bahwa antara absorbansi dan konsentrasi diperoleh nilai koefisien korelasi (R^2) = 0,9966, slope = 0,0758, dan intersep = -0,0438. Nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan hubungan linear antara konsentrasi dan absorbansi.

Variasi Waktu Penyinaran

Fotodegradasi dengan variasi waktu untuk mengetahui waktu degradasi yang optimum dan penurunan konsentrasi zat warna *methyl orange* dari pengaruh lama penyinaran UV dan sebagai pembandingan tanpa penyinaran UV. Fotodegradasi tanpa penyinaran UV dilakukan untuk mengetahui interaksi komposit TiO₂-Montmorillonit dengan zat warna *methyl orange* yang diasumsikan tidak terjadi reaksi fotokatalis pada *methyl orange* tetapi akan terjadi adsorpsi. Adapun hasil %

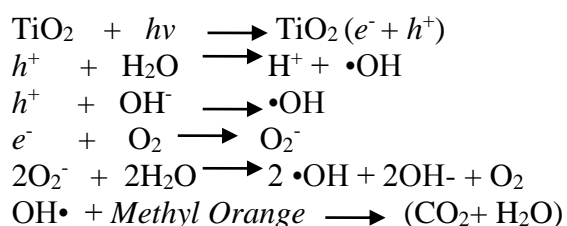
degradasinya dapat dilihat pada **Gambar 4**.

Berdasarkan **Gambar 4** aktivitas komposit TiO₂-Montmorillonit dengan penyinaran UV 365 nm dan tanpa penyinaran UV memiliki perbedaan aktivitasnya. Hal ini dikarenakan aktivitas komposit TiO₂-Montmorillonit dengan tanpa penyinaran UV tidak terjadi reaksi fotokatalis melainkan proses adsorpsi molekul zat warna *methyl orange* pada sisi aktif permukaan komposit. Kemampuan komposit dalam mendegradasi *methyl orange* sebesar 33,25% dengan konsentrasi adsorbat $8,09 \times 10^{-6}$ mol pada waktu 330 menit. Sedangkan pada waktu 360 menit aktivitas adsorpsi komposit TiO₂-Montmorillonit mulai berkurang dengan ditunjukkannya terjadi penurunan mol adsorbat *methyl orange*. Penurunan aktivitas komposit TiO₂-Montmorillonit kemungkinan disebabkan karena jenuhnya sisi aktif pada permukaan komposit oleh *methyl orange*. Sehingga dapat dikatakan telah terjadi kesetimbangan adsorpsi-desorpsi *methyl orange* pada komposit TiO₂-Montmorillonit.



Gambar 4. Perbandingan % Degradasi Aktivitas Komposit TiO₂-Montmorillonit dengan (A) Paparan Sinar UV dan (B) Tanpa Paparan Sinar UV

Aktivitas komposit TiO₂-Montmorillonit dengan penyinaran UV 365 nm terjadi reaksi fotodegradasi. Aktivitas komposit TiO₂-Montmorillonit dihasilkan 81,4 % dengan konsentrasi adsorbat $1,99 \times 10^{-5}$ mol dalam proses fotodegradasi *methyl orange* selama waktu 330 menit. Semakin lama waktu fotodegradasi maka penurunan konsentrasi *methyl orange* akan semakin besar dan akan jenuh pada waktu tertentu. Hal ini disebabkan karena katalis yang berada di dalam reaktor akan mendapat penyinaran lebih lama sehingga lebih banyak katalis yang teraktifkan dan akan menghasilkan OH• yang lebih banyak. OH• yang dihasilkan akan mengoksidasi *Methyl Orange*. Proses fotodegradasi akan diawali dengan adanya eksitasi pita valensi ke pita konduksi. Hole (h^+) bereaksi dengan dengan air menghasilkan OH• sementara e- bereaksi dengan oksigen membentuk superoksida dan bereaksi lebih lanjut dengan air menghasilkan OH• yang akan mendegradasi *methyl orange* seperti pada persamaan reaksi berikut (Rohmawati, *et al.*, 2013):



Semakin lama penyinaran menyebabkan jumlah elektron yang tereksitasi semakin banyak sehingga jumlah *methyl orange* yang teroksidasi juga semakin besar. Jadi penambahan waktu menyebabkan konsentrasi *methyl orange* semakin berkurang.

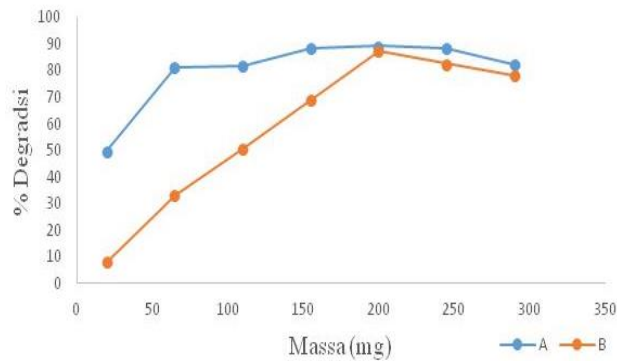
Aktivitas Variasi Massa Komposit TiO₂-Montmorillonit

Fotodegradasi zat warna *methyl orange* menggunakan komposit TiO₂-Montmorillonit dilakukan untuk mengetahui massa yang optimum dalam mempercepat proses degradasi zat warna *methyl orange* dan seberapa pengaruhnya jumlah massa komposit TiO₂-Montmorillonit dalam fotodegradasi 25 mL zat warna *methyl orange*. Variasi massa komposit TiO₂-Montmorillonit yang digunakan adalah 20, 65, 110, 155, 200, 245 dan 290 mg. Hasil percobaan dapat dilihat pada **Gambar 5**.

Berdasarkan **Gambar 5** aktivitas komposit TiO₂-Montmorillonit dengan penyinaran UV 365 nm dan tanpa penyinar UV memiliki perbedaan aktivitasnya. Sama halnya dengan variasi waktu penyinaran bahwa aktivitas komposit TiO₂-Montmorillonit dengan tanpa penyinar UV tidak terjadi reaksi fotokatalisis melainkan proses adsorpsi molekul zat warna *methyl orange* pada sisi aktif permukaan komposit TiO₂-Montmorillonit. Kemampuan komposit

dalam mendegradasi *methyl orange* sebesar 87,3 % dengan konsentrasi adsorbat $2,13 \times 10^{-5}$ mol pada waktu 330 menit. Sedangkan pada waktu 360 menit aktivitas adsorpsi

komposit TiO_2 -Montmorillonit mulai berkurang dengan ditunjukkannya terjadi penurunan mol adsorbat konsentrasi *methyl orange*.



Gambar 5. Perbandingan % Degradasi aktivitas komposit TiO_2 -Montmorillonit dengan (A) paparan sinar UV dan (B) tanpa paparan sinar UV pada Variasi Massa.

Percobaan komposit TiO_2 -Montmorillonit dengan penyinaran UV 365 nm terjadi reaksi fotodegradasi. Aktivitas komposit TiO_2 -Montmorillonit dihasilkan 89,3 % dengan konsentrasi adsorbat $2,18 \times 10^{-5}$ mol dalam proses fotodegradasi *methyl orange* selama waktu 330 menit. Semakin lama waktu fotodegradasi maka penurunan konsentrasi *methyl orange* akan semakin besar dan akan jenuh pada waktu tertentu. Hal ini disebabkan karena katalis yang berada di dalam reaktor akan mendapat penyinaran lebih lama sehingga lebih banyak katalis yang teraktifkan. Dalam hal ini menunjukkan bahwa jumlah komposit sangat berpengaruh dalam meminimalkan limbah zat warna.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa luas permukaan komposit TiO_2 -Montmorillonit sebesar $57,286 \text{ m}^2/\text{g}$. Aktivitas fotokatalis komposit TiO_2 -Montmorillonit terhadap *methyl orange* pada waktu optimum dengan penyinaran UV diperoleh 81,4 % *methyl orange* yang terdegradasi; dan tanpa penyinaran UV diperoleh 33,25 % *methyl orange* yang terdegradasi. Aktivitas

fotokatalis komposit TiO_2 -Montmorillonit terhadap *methyl orange* pada massa komposit optimum dengan penyinaran UV diperoleh 89,3 % *methyl orange* yang terdegradasi; dan tanpa penyinaran UV diperoleh 87,3 % *methyl orange* yang terdegradasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Cristina, M., P., Mu'nisatun s., Ranny, S., Djako M., 2007, Studi Pendahuluan Mengenai Degradasi Zat Warna Azo (*Methyl Orange*) dalam Pelarut Air menggunakan Mesin Berkas Elektron 350 keV/10 mA, *JFN, Vol. 1 No. 1*, hal. 32.
- Fatimah, I., 2013, *Kinetika Kimia*, Graha Ilmu, Yogyakarta
- Kooli, F dan Jones, W., 1997, *Clay Miner.* 32. 633-613.
- Nugraha, I. dan Somatri, A., 2013, *Karakterisasi Bentonit Alam Indonesia Hasil Pemurnian dengan Menggunakan Spektroskopi IR, XRD, dan SAA*. Kimia, Yogyakarta.
- Prasetya, W. D., 2004, Pengaruh Perlakuan Asam Fosfat Dan Pemanasan Terhadap Karakteristik Lempung Na-Montmorillonit. *Tugas Akhir II*. UNNES, Semarang

- Priatmoko, S dan Najiyana, K., 2006, Adsorpsi Logam Cr (III) Oleh Lempung Bentonit Yang Telah Diberi Perlakuan HCl dan H₂SO₄. *Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia*. UNNES, Semarang
- Rohmawati, L., Warhdhani, S., Purwonugroho, D., 2013, Pengaruh Konsentrasi SO₄²⁻ Terhadap Degradasi Methl Orange Menggunakan Fotokatalis TiO₂-Bentonit, *KIMIA. Student Journal*, Vol 1, No. 1.
- Wijaya, K., Tahir, I., dan Baiquni, A., 2002, The Synthesis of Cr₂O₃-Pillared Montmorillonite (CrPM) and Its Usage for Host Material of p-Nitroaniline, *Indo. J. Chem.*, 2(1), 12-21.
- Wijaya, K., Sugiarto, E., Fatimah, I., Tahir, I., dan Rudatiningsih., 2006, Photodegradasi Alizarin S Dye using TiO₂-Zeolit and UV Radiation, *Indo. J. Chem.* 6 (1). 32-37.