

PREPARASI FOTOKATALIS BARIUM BISMUT TITANAT TERPROTONASI(HBBT) UNTUK FOTODEGRADASI METILEN BIRU

Khamdani Harie Mukti, Iwan Hastiawan, Diana Rakhmawaty, dan Atiek R. Noviyanti

Laboratorium Kimia Anorganik
Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran
Jl Raya Bandung-Sumedang Km 21, Sumedang Jawa Barat, 45363
atiek.noviyanti@unpad.ac.id

ABSTRAK

PREPARASI FOTOKATALIS BARIUM BISMUT TITANAT TERPROTONASI(HBBT) UNTUK FOTODEGRADASI METILEN BIRU. Fotokatalisis adalah suatu proses kimia yang menggunakan energi dari cahaya untuk mengaktifkan katalis. Penelitian ini bertujuan membuat fotokatalisis HBBT untuk proses fotodegradasi metilen biru. Tahapan kerja secara umum adalah sintesis BBT dengan reaksi kimia padat, protonasi dengan menggunakan HCl untuk membentuk BBT terprotonasi (HBBT). Morfologi dan struktur BBT dan HBBT dikarakterisasi dengan SEM dan XRD. Kemampuan fotokatalisis HBBT dibandingkan dengan fotokatalisis TiO_2 untuk degradasi metilen biru.

Kata kunci : metilen biru, fotokatalis, HBBT, TiO_2 , spektrofotometer sinar tampak

ABSTRACT

Photocatalytic is a chemical process that uses energy from light to activate a catalyst. In this research photocatalytic HBBT used in-process of photodegradation of methylene blue. The aim of this research is to obtain photocatalytic HBBT that can degrade methylene blue. This work was divided into four steps namely the synthesis of BBT with the solid state reaction, protonation by using HCl to get protonated BBT (HBBT). Morphology and structure both of BBT and HBBT analyzed using SEM and XRD. HBBT photocatalyst to degrade of methylene blue was also compared with photocatalytic TiO_2 .

Keywords: methylene blue, photocatalyst, HBBT, TiO_2 , visible spectrophotometer

1. PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan oleh zat warna dapat menyebabkan gangguan ekosistem perairan dan gangguan kesehatan bagi manusia. Salah satu alternatif untuk mengatasi permasalahan tersebut yaitu dengan menggunakan fotokatalis melalui reaksi fotodegradasi. Pengolahan limbah menggunakan sistem fotokatalis mampu mendegradasi zat warna atau polutan organik menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana dan lebih aman bagi lingkungan. Metode ini juga lebih murah, hemat dalam pemakaian bahan kimia, proses lebih cepat, tidak beracun dan kemampuan penggunaannya panjang (Matthews & Evoy, 1992).

Fotodegradasi zat warna atau senyawa organik umumnya digunakan fotokatalis TiO_2 . Penggunaan serbuk TiO_2 dalam jumlah yang terlalu banyak dapat menyebabkan larutan menjadi keruh dan mudah membentuk suspensi sehingga penyerapan cahaya oleh substrat menjadi kurang sempurna serta akan mengalami kesulitan dalam pemisahan padatan fotokatalis. Salah satu upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan mengembangkan ke dalam material pendukung atau pada suatu bahan matriks.

Akhir-akhir ini, Kudo (Kudo, A dan Hiji, 1999) dan Yao (Yao, W.F., Wang, H., Xu, X.H., dan Yang, X.N., 2003) menemukan suatu fotokatalitik dari padatan. Fotokatalitik ini masing-masing digunakan untuk pengolahan air

dan menghilangkan kontaminan organik. Zhang dkk juga melaporkan kemampuan fotokatalitik dari suatu lapis tipis senyawa Aurivillius lapis tiga yaitu $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ yang didoping La untuk mendegradasi senyawa organik. Berdasarkan hasil penelitian ini, maka sangat dimungkinkan fasa Aurivillius lain juga dapat memiliki aktivitas fotokatalitik.

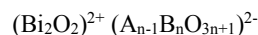
Pada penelitian ini untuk pertama kalinya dilakukan uji fotokatalisis $\text{BaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ (BBT) suatu fasa Aurivillius lapis empat. Sifat fotokatalisis BBT ditingkatkan dengan memodifikasinya menjadi bentuk protonasinya (HBBT). Pada tulisan ini juga dipaparkan bagaimana pembuatan fotokatalis dengan menggunakan bahan baku Barium Bismut Titanat Terprotonasi (HBBT) untuk mendegradasi zat warna metilen biru. Zat warna ini dipilih karena banyak digunakan di dalam industri tekstil. Fotokatalis HBBT yang terbentuk akan digunakan di dalam proses fotokatalisis dengan bantuan sinar ultraviolet tampak (*uv-vis*) untuk mendegradasi zat warna metilen biru.

2. TEORI

2.1 Oksida Aurivillius

Oksida Aurivillius ini merupakan suatu kelompok senyawa yang terdiri atas struktur berlapis yang didalamnya terdapat lapisan $[\text{A}_{n-1}\text{B}_n\text{O}_{3n+1}]^{2-}$ yang disebut dengan lapisan perovskit dan lapisan $[\text{Bi}_2\text{O}_2]^{2+}$. Kation A merupakan ion-ion yang bermuatan +1, +2 atau +3 yang mempunyai koordinasi dodekahedral dan kation B yang mempunyai ukuran besar adalah beberapa logam alkali, alkali tanah, unsur tanah jarang atau campurannya. Sedangkan kation B merupakan suatu unsur transisi dengan koordinasi oktahedral yang berukuran lebih kecil dari kation A dan n merupakan bilangan bulat ($1 \leq n \leq 5$) yang menunjukkan jumlah oktahedral pada lapisan perovskit (Mikrianto & Ismunandar, 2004).

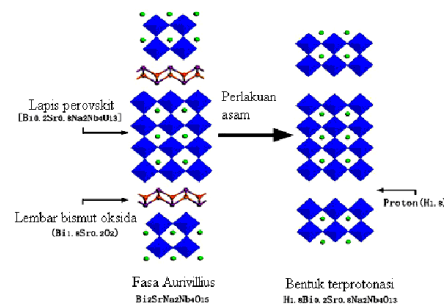
$\text{Ba}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ (B_2BT) adalah salah satu dari beberapa senyawa lapisan bismut yang biasa disebut dengan struktur tipe Aurivillius, yang rumus umumnya:



Untuk $\text{Ba}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$ memiliki $n = 5$, $A = (\text{Ba}, \text{Bi})$ dan $B = \text{Ti}$, dengan rumus Aurivillius-nya adalah $(\text{Bi}_2\text{O}_2)^{2+} (\text{Ba}_2\text{Bi}_2\text{Ti}_5\text{O}_{16})^{2-}$.

2.2 Protonasi Oksida Logam

Protonasi senyawa berlapis merupakan tahap awal dalam modifikasi dari oksida berlapis. Dalam hal ini terjadi pergantian dari suatu logam alkali dengan protom atau ion hidronium dalam suatu larutan asam. Proses ini tidak akan mengubah struktur dari oksida berlapis dan dapat meningkatkan kereaktifan berlapis. Salah satunya penggunaan asam yang berinteraksi dengan beberapa logam oksida berlapis.

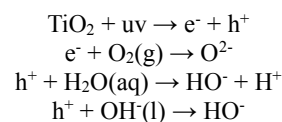


Gambar. 1 Skema konversi fasa aurivillius $\text{Bi}_2\text{SrNa}_2\text{Nb}_4\text{O}_{15}$ menjadi bentuk terprotonasi padalapisan perovskit $\text{H}_{1,8}[\text{Sr}_{0,8}\text{Bi}_{0,2}\text{Nb}_4\text{O}_{13}]$ (Liang et al., 2008).

2.3 Uji Fotokatalisis

Fotokatalisis adalah proses terjadinya reaksi suatu materi terhadap materi lainnya yang dibantu oleh energi dari penyinaran ultraviolet dan katalis padat. Fotokatalis pertama kali ditemukan oleh Renz pada tahun 1921, yaitu pada permukaan semikonduktor metal-oksida. Popularitas fotokatalis ini meningkat sejak dipublikasikan oleh Akira Fujishima pada tahun 1972. Ia mempublikasikan bahwa pemecahan air menjadi oksigen dan hidrogen dengan menggunakan kristal tunggal TiO_2 dengan bantuan input sinar *uv* berenergi rendah.

Ketika TiO_2 terkena cahaya ($\lambda < 385 \text{ nm}$) akan menghasilkan elektron (e^-) dan lambang positif (h^+), yang dapat menginisiasi reaksi kimia dipermukaannya. Elektron kemudian berinteraksi dengan oksigen menghasilkan O_2^- sementara h^+ berinteraksi dengan air menghasilkan radikal hidroksil.



Daya oksidasi kuat radikal hidroksil dan superoksida terbukti dapat menghancurkan polutan dan mikroorganisme. Proses fotokatalisis menjadikan TiO_2 bersifat superhidrofilik, yakni sangat suka air. Dampaknya permukaan TiO_2 berukuran nano tetap transparan dan tidak berkabut saat terkena uap air. Sementara dalam gelap, TiO_2 bersifat hidrofobik atau tidak suka air. Dalam dunia dengan siklus terang dan gelap, TiO_2 berperilaku amfifilik, hidrofobik saat gelap dan hidrofilik saat terang. Akibatnya kotoran, baik polar maupun nonpolar (oily), mudah lepas dari permukaannya. Bersinergi dengan daya oksidasinya yang mampu menghancurkan zat organik, maka permukaan TiO_2 mempunyai kemampuan membersihkan diri sendiri.

2.4 Uji Fotodegradasi

Limbah zat warna yang dihasilkan dari industri tekstil umumnya merupakan senyawa organik *non-biodegradable*, yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan terutama lingkungan perairan. Jenis bahan pewarna yang digunakan di dalam industri tekstil dewasa ini sangat beraneka ragam, dan biasanya tidak terdiri dari atas satu jenis zat warna, oleh karena itu penanganan limbah tekstil menjadi sangat rumit dan memerlukan beberapa langkah sampai limbah tersebut benar-benar aman untuk dilepas ke lingkungan perairan. Saat ini berbagai teknik atau metode penanggulangan limbah tekstil telah dikembangkan, diantaranya adalah metode adsorpsi. Namun metode ini ternyata kurang begitu efektif karena zat warna tekstil kurang diadsorpsi tersebut masih terakumulasi di dalam adsorben yang pada suatu saat nanti akan menimbulkan persoalan baru. Sebagai alternatif, dikembangkan metode fotodegradasi dengan menggunakan bahan fotokatalis dan iradiasi ultraviolet yang energinya sesuai atau lebih besar dari energi celah fotokatalis tersebut. Dengan metode fotodegradasi ini, zat warna akan diurai menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana dan lebih aman untuk lingkungan.

Dalam makalah ini akan dipaparkan penggunaan metode fotodegradasi untuk mendegradasi zat warna metilen biru dengan menggunakan bahan baku HBBT dan TiO_2 sebagai pembanding. Metilen biru dipilih karena dipandang mewakili salah satu zat warna yang ada di industri tekstil.

Fotokatalis HBBT yang terbentuk akan digunakan untuk mendegradasi zat warna

metilen biru secara fotokatalisis dengan bantuan sinar ultraviolet. Metilen biru merupakan senyawa aromatik heterosiklik dengan rumus molekul $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{ClN}_3\text{S}$. Senyawa ini memiliki banyak kegunaan baik dalam bidang kimia ataupun biologi.

3. TATA KERJA

3.1 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini barium karbonat (BaCO_3) 99,98 %, bismut oksida (Bi_2O_3) dan titanium oksida (TiO_2) dengan kemurnian 99,999 % masing-masing dari Aldrich, aseton p.a, asam klorida, air demineral.

3.2 Sintesis BBT dengan metode reaksi kimia padat

Senyawa BBT disintesis dari pereaksi barium karbonat, bismut oksida dan titanium oksida. Masing-masing pereaksi ditimbang dengan jumlah tertentu sesuai dengan perbandingan stoikiometri material yang akan disintesis.

Campuran pereaksi digerus dengan menggunakan mortar dan pastel sampai ukuran partikel pereaksi terlihat homogen agar mudah berinteraksi (untuk mempermudah pencampuran ditambahkan aseton p.a). Selanjutnya campuran pereaksi diletakkan pada krus alumina untuk kemudian dibakar dalam furnace. Sesuai dengan aturan Tamman. Pemanasan awal dilakukan pada dua per tiga dari suhu terendah pereaksi yang digunakan, yaitu pada suhu 540 °C. Kemudian dilanjutkan pada suhu 800, 900, 1000, dan 1100 °C secara bertahap selama masing-masing 24 jam (kecuali 900 dan 100 °C selama 8 jam). Penggerusan ulang dilakukan pada setiap tahap pemanasan (Kennedy et al., 2003).

3.3 Konversi BBT dengan Asam

Konversi BBT ke dalam bentuk asamnya dilakukan dengan mereaksikan 0,5 gram BBT ke dalam 100 mL HCl 1M. Campuran pereaksi kemudian diaduk pada suhu yang ruang sekitar 27 °C selama 12 hari. Lalu produk dicuci sebanyak 2 kali dengan menambahkan 30 mL akuadest dan dikeringkan di dalam oven pada suhu 120 °C selama 24 jam (Noviyanti, 2005).

3.4 Uji Aktifitas Fotokatalis BBT dan TiO₂ Dengan Menggunakan Metilen Biru 1.10⁻⁵M

Hal pertama yang dilakukan adalah dengan menimbang fotokatalis BBT dan TiO₂ masing-masing dengan berat 25 mg yang kemudian ditambahkan 25 mL metilen biru 1.10⁻⁵ M. Sebanyak 25 mg BBT dan TiO₂ serta 1.10⁻⁵ M metilen biru dimasukkan ke dalam labu kuarsa. Kemudian diaduk dengan pengaduk magnet dan diiradiasi oleh lampu ultraviolet selama 120 menit. Setelah fotokatalis selesai, filtrate kemudian dianalisis dengan spektrofotometer ultraviolet tampak (*uv-visible*). Uji Aktifitas fotokatalis dilakukan terhadap semua waktu dari fotokatalis BBT yang dibentuk. Sebagai pembandingan, prosedur yang sama dilakukan terhadap TiO₂ saja.

3.5 Uji Adsorpsi Fotokatalis BBT dan TiO₂ Dengan Menggunakan Metilen Biru 1.10⁻⁵M

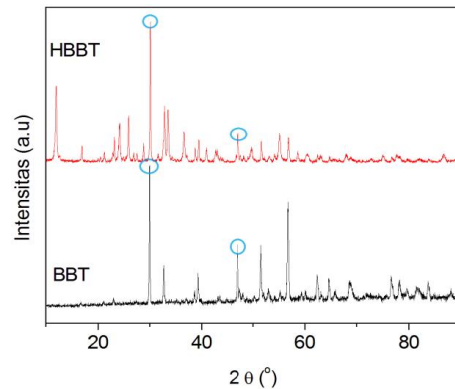
Hal pertama yang dilakukan adalah dengan menimbang fotokatalis BBT dan TiO₂ masing-masing dengan berat 25 mg yang kemudian ditambahkan 25 mL metilen biru 1.10⁻⁵ M. Sebanyak 25 mg BBT dan TiO₂ serta 1.10⁻⁵ M metilen biru dimasukkan ke dalam labu kuarsa. Kemudian diaduk dengan pengaduk magnet. Setelah pengadukan selesai, didapat filtrate dan kemudian filtrate tersebut dipipet lalu dianalisis dengan spektrofotometer ultraviolet tampak (*uv-visible*). Uji adsorpsi fotokatalis dilakukan terhadap semua waktu dari fotokatalis BBT yang dibentuk. Sebagai pembandingan, prosedur yang sama dilakukan terhadap TiO₂ saja.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sintesis BBT

BaBi₄Ti₄O₁₅ hasil reaksi kimia padat dikarakterisasi dengan analisis difraksi sinar-X. Difraktogram yang didapat berupa puncak-puncak khas pada sudut 2θ tertentu, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Pola puncak-puncak difraksi hasil sintesis padat sesuai dengan data ICSD (no. 35-0757). Proses protonasi dilakukan untuk memodifikasi struktur BBT menjadi padatan asam. Padatan BBT memiliki lapisan bismut oksida (Bi₂O₂)²⁺ yang dapat digantikan atau disubstitusi oleh proton. Ini dikarenakan lapisan bismut oksida lebih mudah larut dalam suasana asam dibandingkan lapisan perovskitnya [A_nB_{n-1}O_{3n+1}]²⁻.



Gambar. 2 Difraktogram BBT (sebelum protonasi) vs HBBT (sesudah protonasi)

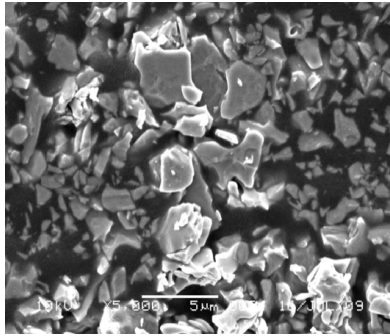
Terjadinya proses protonasi pada fase Aurivillius dapat dilihat dari perbedaan hasil difraktometer sinar-X fase Aurivillius sebelum dan sesudah protonasi. Pada umumnya difraksi sinar-X fase Aurivillius akan mengalami perubahan dikarenakan adanya perubahan struktur pada fase Aurivillius, dimana ada sebagian dari lapisan bismut oksida yang akan tersubstitusi oleh proton. Turunnya intensitas pada 2θ sekitar 30 ° dan ada puncak di bawah 2θ sekitar 20 ° merupakan karakter dari suatu fase Aurivillius yang lapisan bismutnya sudah tersubstitusi asam.

Terjadinya protonasi pada BBT juga dibuktikan dengan perubahan morfologi permukaan BBT hasil karakterisasi SEM yang berbeda dengan BBT terprotonasi (HBBT), seperti ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4

Morfologi permukaan BBT sebelum diprotonasi nampak memiliki butir yang tidak homogen dengan tingkat pengelompokkan (aglomerasi) yang tinggi. Analisis semikuantitatif hasil EDS terhadap BBT terprotonasi, memperlihatkan komposisi unsur-unsur (Ba:Bi:Ti) penyusun material ini adalah 1:4:4.



Gambar. 3 BBT hasil sintesis reaksi kimia padat dengan pembesaran 5000 kali



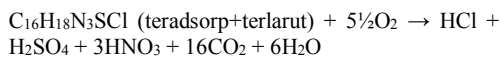
Gambar. 4 BBT terprotonasi dengan pembesaran 5000 kali.

Sedangkan dari hasil BBT terprotonasi, diperoleh perbandingan komposisi unsur-unsur (Ba:Bi:Ti) yaitu 1:1:4.

4.2 Fotodegradasi Metilen Biru dengan Foto-katalisis HBBT

Fotodegradasi metilen biru dilakukan menggunakan fotokatalisis HBBT dan TiO₂ sebagai pembanding yang dibantu dengan adanya sinar ultraviolet. Reaksi yang terjadi pada fotodegradasi metilen biru adalah reaksi radikal dimana terjadi pelepasan dan penangkapan elektron yang diakibatkan oleh oksidator yang terbentuk pada saat proses fotokatalisis berlangsung.

Reaksi fotodegradasi metilen biru dapat dituliskan sebagai berikut:

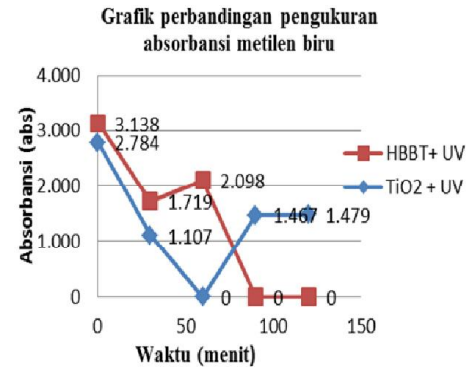


(Nogueira & Jardim 1993).

Agar sinar ultraviolet dapat mengenai semua bagian fotokatalis secara merata, maka pada saat proses fotodegradasi berlangsung dilakukan proses pengadukan terhadap sampel yang diuji. Variasi waktu penyinaran dilakukan untuk mengetahui berapa banyak metilen biru yang dapat didegradasi oleh fotokatalisis HBBT dan TiO₂ sebagai pembanding dengan bantuan sinar ultraviolet digunakan sebagai fungsi waktu. Grafik perbandingan pengukuran absorbansi metilen biru setelah diberi fotokatalis TiO₂ dan HBBT yang diiradiasi selama 120 menit ditunjukkan pada **Error! Reference source not found.5**.

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat jumlah metilen biru yang terdegradasi oleh HBBT dan

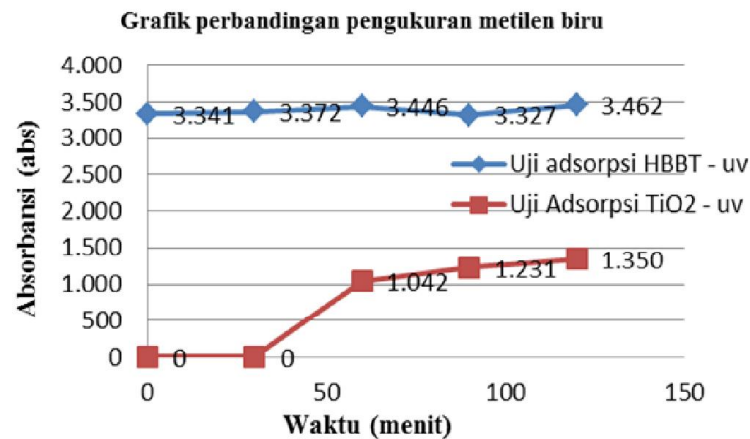
TiO₂ berbeda seiring dengan waktu penyinaran, dan menunjukkan jumlah yang berkebalikan pada waktu penyinaran pada 60 dan 90 menit. Waktu optimum degradasi metilen biru terjadi pada waktu 60 untuk TiO₂ dan 90 menit untuk HBBT. Setelah 90 menit penyinaran degradasi metilen biru oleh TiO₂ justru turun sebaliknya dengan HBBT naik. Perbedaan ini sangat dimungkinkan oleh perbedaan struktur dari TiO₂ dan HBBT.



Gambar. 5 Grafik absorbansi metilen biru setelah diberi fotokatalis TiO₂ dan HBBT yang diiradiasi selama 120 menit.

Untuk mengetahui jumlah fotodegradasi yang terjadi oleh fotokatalis HBBT dan TiO₂ tanpa adanya pengaruh dari adsorpsi yang terjadi pada saat proses fotokatalis berlangsung, maka dilakukan prosedur adsorpsi terhadap metilen biru untuk fotokatalis HBBT dan TiO₂ menggunakan prosedur yang sama dengan proses aktivitas fotokatalis hanya saja tidak diberikan penyinaran oleh ultraviolet. Pengambilan sampling dilakukan setiap 30 menit (0, 30, 60, 90, dan 120 menit) dan hasil pengukuran absorbansi metilen biru oleh spektrofotometer *uv-visible* pada panjang gelombang 664 nm. Grafik perbandingan pengukuran absorbansi metilen biru setelah diberi fotokatalis TiO₂ dan HBBT tanpa diiradiasi uv dilakukan hingga 120 menit, ditunjukkan pada Gambar. .

Pada Gambar. . dapat dilihat perbedaan aktivitas dan adsorpsi fotokatalis HBBT dan TiO₂ terhadap proses fotodegradasi metilen biru. Aktivitas adsorpsi fotokatalis yang dimiliki HBBT lebih rendah daripada TiO₂. Dengan jumlah HBBT dan TiO₂ yang banyak (25 mg), terlihat TiO₂ dengan cepat mengadsorpsi metilen biru, tetapi daya adsorpsinya berkurang setelah lebih dari 60 menit.



Gambar. 6 Grafik absorbansi metilen biru setelah diberi fotokatalis TiO₂ dan HBBT tanpa diiradiasi uv (diaduk) selama 120 menit.

Daya adsorpsi HBBT nampak relatif konstan seiring bertambahnya waktu. Hal ini sangat dimungkinkan permukaan HBBT lebih luas karena strukturnya yang berlapis. Hasil ini mengindikasikan HBBT memiliki potensi sebagai material fotokatalis. Psersentasi metilen biru yang terdegradasi oleh aktivitas adsorpsi dan fotokatalisis ditunjukkan pada **Error! Not a valid bookmark self-reference.**

Tabel 1 Persentase fotodegradasi metilen biru oleh fotokatalis HBBT dan TiO₂.

Foto katalis	Metilen Biru Terdegradasi (%)		Persentase Metilen Biru Terdegradasi Oleh Fotokatalis (%)
	Proses Aktivitas	Proses Adsorpsi	
HBBT	94,20	62,96	31,24
TiO ₂	66,34	61,18	5,16

Pada Daya adsorpsi HBBT nampak relatif konstan seiring bertambahnya waktu. Hal ini sangat dimungkinkan permukaan HBBT lebih luas karena strukturnya yang berlapis. Hasil ini mengindikasikan HBBT memiliki potensi sebagai material fotokatalis. Psersentasi metilen biru yang terdegradasi oleh aktivitas adsorpsi dan fotokatalisis ditunjukkan pada **Error! Not a valid bookmark self-reference.**

Tabel 1 persentase metilen biru yang terdegradasi oleh fotokatalis HBBT-TiO₂ diperoleh dari selisih antara proses aktivitas fotokatalis dengan proses adsorpsi fotokatalis.

5. KESIMPULAN

Metilen biru yang terdegradasi oleh HBBT dan TiO₂ berbeda seiring dengan waktu penyinaran, dan menunjukkan jumlah yang berkebalikan Waktu optimum degradasi metilen biru terjadi pada waktu 60 untuk TiO₂ dan 90 menit untuk HBBT. Setelah 90 menit penyinaran degradasi metilen biru oleh TiO₂ justru turun sebaliknya dengan HBBT naik. Perbedaan ini sangat dimungkinkan oleh perbedaan struktur dari TiO₂ dan HBBT.

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih pada Dikti melalui Program Penelitian Hibah Bersaing No. 1039/UN6.RKT/KP/2012

7. DAFTAR PUSTAKA

1. FUJISHIMA, AK., HASIMOTO., WATANABE. *and Application*. Printing (1999)
2. KENNEDY, B.J., KUBOTA, Y., HUNTER, B.A., ISMUNANDAR AND KATO. 2003 Solid State Comm.
3. KUDO, A. & HIJII, S., Chem. Lett. **28** (1999) 1103.
4. IKRIANTO, E. & ISMUNANDAR. 2006. Jurnal Matematika dan Sains. ITB.
5. NOGUEIRA, R.F.P. & JARDIM, W.F. 1993. *Photodegradation of Methylene Blue Using Industry*. Natl. Acad. USA. Sci. **96**, 3463-3470.

6. **NOVIYANTI, A. R.** 2005. $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$,
Noviyanti, A.R, $\text{BaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$, $\text{Ba}_2\text{Bi}_4\text{Ti}_5\text{O}_{18}$:
Sintesis dan protonasinya; Fakultas MIPA,
ITB, tesis (2005)
7. *Hidrotermal dan Protonasinya.* Thesis,
Fakultas MIPA Institut Teknologi
8. **ROPP, R. C.** 2003. *Solid State Chemistry.*
Elsevier Science B. V. Amsterdam.
9. **TELLIER, J., BOULLAY, PH.,**
MANIER, M. & MERCURIO, D. 2004.
A Comparative Study of The Aurivillius
Phase Ferroelectrics $\text{CaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ and
 $\text{BaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$. Journal of Solid State Chem.
10. **YAO, W.F., WANG, H., XU, X.H., DAN**
YANG, X.N., Appl. Catal. A: Gen. **251**
(2003) 235.
11. **NOGUEIRA, R.F.P. & JARDIM, W.F.**
(1993). *Natl. Acad. USA. Sci.* **96**, 3463-
3470.