

AKTIVITAS FOTOKATALITIK BEADS TiO₂-N/ZEOLIT-KITOSAN PADA FOTODEGRADASI METILEN BIRU (KAJIAN PENGEMBANAN, SUMBER SINAR DAN LAMA PENYINARAN)

Sri Wardhani¹, Akhmad Bahari², M. Misbah Khunur³

FMIPA, Universitas Brawijaya, Malang

Email: wardhani@ub.ac.id¹, akhmadbahari150693@gmail.com², mmisbah@ub.ac.id³

ABSTRACT

Photodegradation is the decomposition of the compound semiconductor with light. This study aims to determine the photocatalytic activity of TiO₂-N / zeolite-chitosan granules by studying the effect of TiO₂-N impregnation on zeolites, light source, and the effect of exposure time on the photodegradation of Methylene Blue (MB). Zeolites are activated with HCl 0.4 M. TiO₂-N synthesized by the method of sonication with urea as N source, then TiO₂-N impregnated into the zeolite. Beads photocatalyst TiO₂-N/zeolite-chitosan synthesized by mixing chitosan / acetic acid with a photocatalyst then dripped by syringe pump into 0.4 M NaOH to form granules. The energy band gap of the photocatalyst was determined by Reflectance Diffuse Spectroscopy (DRS). Beads photocatalyst TiO₂-N/zeolite-chitosan tested their activity by adding 0,1g beads photocatalyst TiO₂-N/zeolite-chitosan with 25 mL MB 20 mg / L and irradiated with sunlight/UV for 1-5 hours. The characterization results DRS beads photocatalyst TiO₂-N/zeolite-chitosan has an energy band gap of 2.4 eV. The results showed that impregnation on zeolites can increase photodegradation MB. Light source also affects the catalytic activity of TiO₂-N / zeolite-chitosan beads, sunlight provides greater activity than UV rays. The longer the exposure to the sun for up to 5 hours, TiO₂-N/zeolite-chitosan granules can degrade MB amounted to 55.08%.

Keywords: beads, TiO₂-N, Methylene Blue, zeolite, chitosan.

1. PENDAHULUAN

Banyaknya molekul zat warna dalam air akan mengganggu proses fotosintesis. Limbah zat warna hasil aktivitas industri tekstil

umumnya berupa senyawa organik *non biodegradable* yang dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan perairan. Salah satu zat warna yang digunakan dalam industri tekstil yaitu *methylene blue*, zat warna ini sebagai pewarna dasar kulit, kain mori, kain katun dan tannin. Limbah zat warna ini merupakan senyawa organik yang sukar terurai.

Teknologi penanggulangan limbah industri tekstil telah banyak dilakukan, misalnya secara kimia menggunakan koagulan yang akan menghasilkan lumpur (*sludge*), secara fisika dengan sedimentasi, adsorpsi, dan secara biologi juga banyak diterapkan. Efisiensi penghilangan zat warna melalui proses biologi sering kali tidak memuaskan, karena zat warna mempunyai sifat tahan terhadap degradasi biologi (*recalcitrance*) (Manurung,2015). Metode konvensional juga telah dilakukan oleh para peneliti antara lain klorinasi, ozonisasi, dan adsorpsi menggunakan karbon aktif. Metode baru perlu dikembangkan sehingga mudah diterapkan, dan relatif murah. Salah satu metode tersebut yaitu fotodegradasi menggunakan fotokatalis semikonduktor dan sinar ultraviolet (Fatimah,2014;Widihati,2011).

Fotodegradasi yaitu proses penguraian senyawa zat organik menjadi senyawa yang lebih aman bagi lingkungan dengan bantuan energi foton (Wijaya,2006;Septiana,2014). Proses fotodegradasi didasarkan pada prinsip fotokatalitik (Alinsafi,2007). Fotodegradasi membutuhkan fotokatalis semikonduktor. Fotokatalis yang digunakan dalam metode fotodegradasi antara lain: TiO₂, CdS dan Fe₂O₃ serta radiasi sinar ultraviolet (UV) dengan panjang gelombang sesuai dengan energi celah yang dimiliki oleh bahan semikonduktor tersebut. TiO₂ (Titanium dioksida) merupakan bahan semikonduktor yang paling unggul diantara bahan semikonduktor lainnya dan

ketersediaannya melimpah (Fatimah,2014). TiO₂ memiliki keunggulan diantaranya tidak beracun, memiliki aktifitas fotokatalis yang baik, harganya murah, berlimpah, tidak larut dalam air, semikonduktor dengan *band gap* lebar, luas permukaan besar dan stabilitas kimia tinggi (Rahman,2014).

Pendekatan untuk penggunaan TiO₂ pada daerah sinar tampak adalah memodifikasi struktur kimianya sehingga terjadi pergeseran penyerapan spektrum ke daerah sinar tampak. Modifikasi fotokatalis TiO₂ melibatkan pengantar (doping) dari logam dan non logam. Penggunaan logam Zn dan Ni mampu menurunkan energi *band gap* TiO₂ dan meningkatkan aktifitas fotokatalis sebagaimana dilaporkan oleh Prambasto, dkk (Prambasto,2017). Modifikasi menggunakan doping logam berdampak pada timbulnya limbah logam berat, oleh karena itu diperlukan doping menggunakan non logam seperti N, C, S, P, dan F. Unsur N merupakan dopan paling efektif. Dopan N bisa didapatkan dari urea dengan kandungan nitrogen tinggi, mudah didapat, dan relatif murah sehingga cukup potensial digunakan sebagai sumber nitrogen untuk pembuatan TiO₂ terdopan N yang diharapkan akan aktif pada daerah sinar tampak dan efisien menggunakan sumber sinar matahari. Dopan N yang dibuat dengan perbandingan molar TiO₂ : urea yaitu 95:5 kemudian disuspensikan dalam aqua DM mampu menurunkan energi *band gap* TiO₂ sebesar 0,13 eV (Riyani,2012).

TiO₂ memiliki daya adsorpsi yang lemah dalam mendegradasi senyawa target. TiO₂ mempunyai sifat menyebar (terdispersi) ke seluruh bagian larutan sehingga kontak TiO₂ dengan polutan kurang optimal. Untuk mengoptimalkan kekurangan tersebut, TiO₂ dapat dimodifikasi dengan cara diimbakan pada suatu mineral yang memiliki kemampuan adsorpsi cukup tinggi (Naimah,2014; Subechi,2011). Pengemban yang banyak digunakan adalah zeolit, karena zeolit merupakan alumina silika yang memiliki pori dan luas permukaan besar, dapat menyerap zat organik maupun anorganik, sebagai penukar kation (Pardoyo,2009).

Fotokatalis TiO₂ dapat dibuat dengan bentuk *beads* dengan penambahan kitosan. Kitosan merupakan material tidak beracun, bersifat *biodegradable* dan pengemban yang

baik karena efektif menurunkan ion logam berat dan pewarna organik (Septiana,2014). Pembentukan fotokatalis *beads* dapat mempermudah proses fotodegradasi karena berbentuk bola manik sehingga tidak bercampur dengan zat warna yang menyebabkan terjadinya kekeruhan atau suspensi saat proses fotodegradasi.

Fotokatalis beads TiO₂-N/zeolite kitosan perlu dibuat untuk meningkatkan aktivitas TiO₂ dan melihat pengaruh sumber sinar terhadap kemampuan fotokatalitiknya pada metilen biru (MB).

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah mortar, penggerus, ayakan 150 dan 200 *mesh*, neraca analitik *Ohaus*, tanur *RHF 1500/Carbolite*, pH meter, *Syringe Pump* BYZ-810T, Sonikator *Branson 2210* (47 kHz), lampu UV merk *sankyo 352 nm* dan instrumentasi UV *Visible Genesys 10S*, Spektrofotometer UV-Vis *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (DRS) Shimadzu 2450

2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit alam Turen, HCl (32% bj=1,16), AgNO₃, *methylene blue* (Uni Chem), TiO₂ p.a, etanol 96%, Urea p.a, kitosan, NaOH, asam asetat glasial (98%, bj=1,049), aqua demineralisasi (DM), dan aquades.

2.3 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan berdasarkan aktivitas TiO₂-N/zeolit-kitosan *beads* melalui perlakuan impregnasi pada zeolit, lama penyinaran serta penyinaran menggunakan matahari dan ultraviolet.

Adapun tahapan penelitian yang dilakukan antara lain:

1. Preparasi dan aktivasi zeolit
2. Preparasi TiO₂-N
3. Impregnasi TiO₂-N/zeolit
4. Sintesis *beads* TiO₂-N/zeolit-kitosan
5. Preparasi larutan *methylene blue*
6. Uji aktivitas fotokatalis TiO₂-N/zeolit-kitosan *beads* pengaruh impregnasi pada zeolite, lama penyinaran, dan jenis sumber sinar terhadap fotodegradasi MB

7. Penentuan konsentrasi MB hasil degradasi menggunakan spektrofotometer UV *Visible Genesys 10S*
8. Karakterisasi TiO₂-N/zeolit-kitosan dengan DRS

2.4 Prosedur Penelitian

2.4.1 Preparasi dan Aktivasi Zeolit Alam

Zeolit yang sudah diayak secara bertingkat yaitu 150 dan 200 *mesh* diambil 150 g dicuci dengan 750 mL aquades dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Selanjutnya disaring menggunakan kertas saring dan dioven selama 2 jam dengan temperatur 100 °C kemudian didesikator selama 30 menit dan ditimbang hingga berat konstan. Zeolit hasil preparasi dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL sebanyak 16 g dan ditambahkan 150 mL HCl 0,4 M, kemudian dikocok dengan kecepatan 100 rpm selama 4 jam. zeolit disaring dan dicuci menggunakan aquades hingga bebas Cl⁻ dengan cara pengujian menggunakan AgNO₃ 0,1 M. Residu zeolit dikeringkan dalam oven selama 2 jam pada temperatur 100 °C dan didesikator kemudian dikalsinasi 4 jam pada temperatur 500 °C.

2.4.2 Preparasi TiO₂-N

TiO₂-N dibuat dengan cara TiO₂ ditambah urea dalam erlenmeyer 250 mL kemudian disuspensikan dalam 5 mL aqua DM. selanjutnya disonikasi selama 30 menit dan diuapkan di atas *hot plate* hingga setengah kering, selanjutnya suspensi dikeringkan dalam oven pada temperatur 110 °C dan dikalsinasi menggunakan tanur.

2.4.3 Impregnasi TiO₂-N/Zeolit

TiO₂-N dicampur zeolit dan ditambahkan 10 mL etanol 96% dalam gelas kimia 250 mL, kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 5 jam dan diuapkan di atas *hot plate* kemudian dikeringkan dalam oven 2 jam pada temperatur 110 °C. Selanjutnya TiO₂-N/zeolit dikalsinasi selama 5 jam.

2.4.4 Sintesis TiO₂-N/Zeolit-kitosan *Beads*

Asam asetat glasial 1% dimasukkan dalam gelas kimia 50 mL kemudian

ditambahkan kitosan dan diaduk selama 30 menit. Selanjutnya ditambahkan TiO₂-N zeolit dan diaduk kembali menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit kemudian dimasukkan dalam *syringe* dan diteteskan ke dalam NaOH 0.4 M. *Beads* yang terbentuk dicuci hingga pH cucian sama dengan pH aquades dan dikeringkan dalam oven. Fotokatalis kemudian dikarakterisasi dengan DRS

2.4.5 Uji Aktivitas Berbagai Jenis Fotokatalis

Empat buah gelas fotodegradasi diisi 25 mL MB 25 mg/L dengan empat perlakuan dengan fotokatalis 0,1 g yaitu MB dan TiO₂/zeolit-kitosan + H₂O₂; MB dan TiO₂-N/kitosan + H₂O₂; MB dan TiO₂-N/zeolit-kitosan; dan MB saja. Kemudian disinari dengan matahari selama 3 jam (10:15-13:15 WIB). Selanjutnya diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV (duplo).

2.4.6 Pengaruh Sumber Sinar dan Lama Penyinaran pada Fotokatalis TiO₂-N/Zeolit-kitosan *Beads*

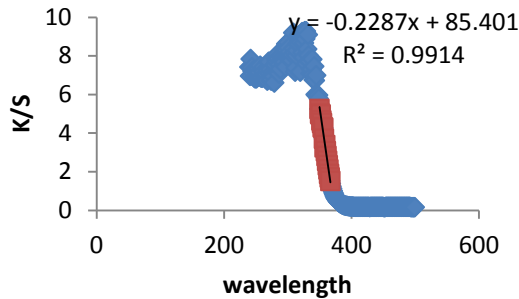
Larutan *methylene blue* sebanyak 25 mL dengan konsentrasi 30 mg/L dimasukkan dalam gelas fotodegradasi ditambahkan TiO₂-N/zeolit-kitosan *Beads* 0.1 g. fotokatalis dilakukan uji aktivitas fotokatalisis dengan variasi waktu 2, 3, 4, dan 5 jam dibawah sinar matahari (09:15-14:15 WIB) dan sinar UV. Selanjutnya diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV (duplo).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

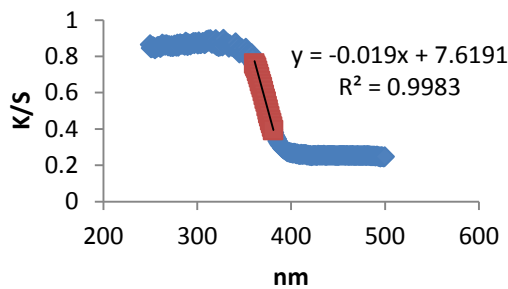
3.1 Karakterisasi Energi *Band Gap* dengan UV-Vis *Diffuse Reflectance Spectroscopy*

Karakterisasi fotokatalis TiO₂-N/zeolit-kitosan *beads* menggunakan UV-Vis *Diffuse Reflectance Spectroscopy* adalah untuk menentukan energi *band gap* fotokatalis hasil sintesis. Pengaruh doping N dapat merubah energi *band gap* fotokatalis, energi *band gap* pada TiO₂ murni yaitu sebesar 3,28 eV sedangkan pada fotokatalis TiO₂-N energi *band gap* yang dihasilkan yaitu 3,05 eV.. Berdasarkan penelitian Alfina, dkk [58] energi *band gap* pada TiO₂ murni yaitu 3,34 eV. Sedangkan pada fotokatalis TiO₂-N yang diimbangkan ke dalam zeolit dan disintesis dengan kitosan memiliki energi *band gap* 3,14

eV (Sylvia,2015). Grafik hubungan antara panjang gelombang terhadap nilai K/S dari fotokatalis TiO₂ beads tersaji pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1: Kurva hubungan panjang gelombang terhadap nilai K/S dari TiO₂



Gambar 2: Kurva hubungan panjang gelombang terhadap nilai K/S dari TiO₂-N

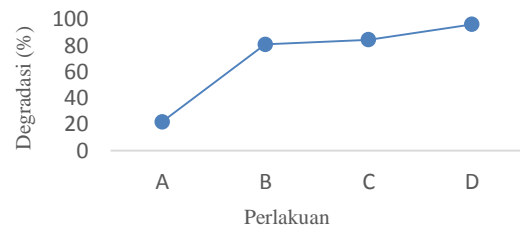
Dari Gambar 1 dan 2 diketahui bahwa masing-masing spektra fotokatalis TiO₂, TiO₂-N memiliki serapan pada daerah panjang gelombang 200-400 nm. Namun, pada serapan rentang panjang gelombang 400-800 nm TiO₂ memiliki serapan yang lebih kecil daripada TiO₂-N. Hal ini menunjukkan bahwa pada penambahan dopan N pada fotokatalis TiO₂ mampu menghasilkan tingkat energi baru.

Selain absorbansi, dari karakterisasi DRS mampu memberikan informasi besar nilai *bandgap* dari fotokatalis. Data absorbansi, %R, dan panjang gelombang dapat diolah menggunakan persamaan Kubelka-Munk dan dibuat kurva hubungan antara panjang gelombang dengan nilai K/S untuk mengetahui besar energi *bandgap*nya. Dari hasil perhitungan dan pengolahan data hasil

karakterisasi DRS didapatkan nilai energi *bandgap* TiO₂ 3,28 eV, TiO₂-N 3,09 eV.

Penurunan energi *bandgap* disebabkan karena terjadinya pergeseran panjang gelombang ke daerah yang lebih panjang. Pada penambahan dopan N pada TiO₂ akan memberikan tingkat energi baru yang memudahkan elektron mengalami eksitasi dari pita valensi ke pita konduksi. Dengan menurunnya energi *bandgap* dari fotokatalis, aktivitas fotokatalis akan optimal di bawah sinar tampak dan akan menurun di bawah sinar UV. Dari hasil karakterisasi, sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Permatasari (Permatasari,2015) dan Riyani (Riyani,2010) yang menunjukkan bahwa penggunaan fotokatalis TiO₂ yang didoping dengan N akan meningkatkan ukuran partikel dan penurunan *bandgap* sebesar 0,014 eV, sehingga dapat menggunakan aktivitas cahaya tampak pada proses fotokataliknya.

3.2 Pengaruh Impregnasi fotokatalis pada zeolite terhadap aktivitas TiO₂-N/zeolit-kitosan beads



Gambar 3: Kurva hubungan antara berbagai perlakuan jenis fotokatalis terhadap degradasi (%) MB

Keterangan:

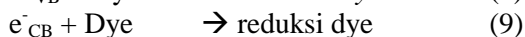
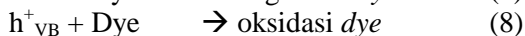
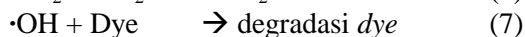
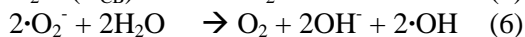
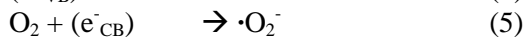
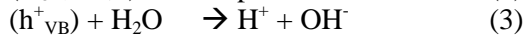
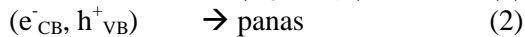
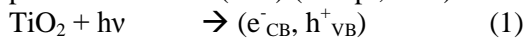
- (A): MB
- (B): MB + TiO₂/zeolit-kitosan + H₂O₂
- (C): MB + TiO₂-N/kitosan + H₂O₂
- (D): MB + TiO₂-N/zeolit-kitosan + H₂O₂

Gambar 3 menunjukkan bahwa tanpa adanya fotokatalis degradasi MB memiliki nilai degradasi paling rendah yaitu sebesar 21,829%. Pada penggunaan fotokatalis TiO₂/zeolit-kitosan beads degradasi *methylene blue* meningkat menjadi 80,9%. Hal ini karena fotokatalis mampu menyerap energi foton matahari dan adanya pengembangan zeolit yang berfungsi sebagai adsorben. Pada fotokatalis TiO₂-N/kitosan beads aktivitas degradasi

meningkat menjadi 84,4%, karena fotokatalis TiO_2 yang telah terdopan N mempunyai energi *band gap* yang lebih rendah daripada TiO_2 sehingga dapat menyerap energi foton lebih banyak untuk menghasilkan radikal hidroksil. Aktivitas fotokatalis TiO_2 -N/zeolit-kitosan *beads* memiliki degradasi paling besar yaitu 96,1% dalam mendegradasi *MB*. Hal ini dikarenakan fotokatalis memiliki kemampuan ganda. Pengaruh dopan N yang dapat menurunkan energi *band gap* fotokatalis menjadi 2,5 eV serta adanya pengemban zeolit sebagai adsorben yang dapat meningkatkan adsorpsi *MB*. Fotokatalis dengan energi *band gap* kecil yang terdopan N dapat menyerap energi foton yang dihasilkan oleh matahari lebih besar dibandingkan fotokatalis tanpa dopan (Wismayanti,2015). Adanya katalis ketika terkena sinar matahari akan menghasilkan elektron (e^-) pada pita konduksi dan *hole* (h^+) pada pita valensi. *Hole* ketika bereaksi dengan H_2O menghasilkan radikal $\cdot\text{OH}$ yang dapat mendegradasi zat warna..

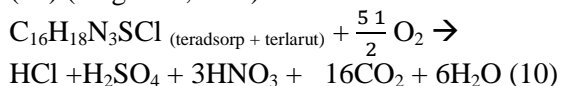
Pada fotokatalis TiO_2 -N/zeolit-kitosan *beads* menunjukkan bahwa aktivitas fotodegradasi *MB* paling besar karena fotokatalis mampu menyerap energi matahari secara optimal sehingga dapat menghasilkan radikal hidroksil ($\cdot\text{OH}$) lebih banyak untuk mendegradasi *methylene blue*, semakin banyak radikal hidroksil yang dihasilkan maka *methylene blue* yang didegradasi akan lebih besar dan adanya zeolit sebagai pengemban TiO_2 -N berfungsi sebagai adsorben yang baik (Riyani,2012).

Mekanisme proses fotokatalitik semikonduktor TiO_2 ditunjukkan pada persamaan reaksi (1- 9) (Palupi,2006):

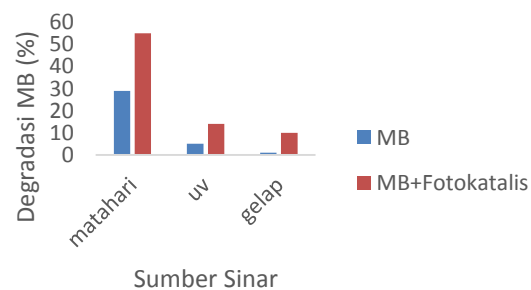


Proses degradasi *MB* oleh fotokatalis dapat menghasilkan senyawa-senyawa organik dengan toksisitas rendah dan aman bagi lingkungan, karena sudah dipecah menjadi senyawa yang lebih sederhana. Fotokatalis akan menghasilkan radikal $\cdot\text{OH}$ yang akan

memutus ikatan $\text{C-S}^+=\text{C}$ menjadi ion sulfat melalui pembentukan sulfoksida yang menginduksi pembukaan cincin aromatik pusat, kemudian radikal $\cdot\text{OH}$ akan menyerang sulfoksida kembali dan membentuk sulfon yang menyebabkan disosiasi dari dua cincin benzena. Sulfon yang terbentuk akan diserang oleh radikal $\cdot\text{OH}$ membentuk senyawa asam sulfonat. Mekanisme reaksi pada fotodegradasi *methylene blue* ditunjukkan persamaan reaksi (10) (Nogueira,1993):



3.3 Pengaruh Sumber Sinar Terhadap Aktivitas Fotokatalis



Gambar 3: Pengaruh Sumber sinar Terhadap Aktivitas fotokatalitik dari TiO_2 -N/zeolite-kitosan

Pada uji degradasi *MB* konsentrasi 20 mg/L dengan berbagai sumber sinar yaitu matahari, ultraviolet dan kondisi gelap selama 3 jam tersaji pada Gambar 3. Gambar 3 menunjukkan bahwa degradasi *MB* pada penyinaran menggunakan matahari menghasilkan aktivitas katalitik yang lebih besar dibandingkan dengan penyinaran ultraviolet dan kondisi gelap. Pada kondisi penyinaran dengan matahari fotokatalis dapat menyerap energi foton matahari. Sinar matahari memiliki intensitas dan panjang gelombang yang lebih besar (310-2300 nm) dibandingkan UV (200-380 nm), selain itu matahari merupakan gabungan antara 45% sinar tampak dan 5% sinar UV sehingga dapat menghasilkan *hole* yang lebih banyak pada fotokatalis sehingga lebih banyak OH radikal yang dihasilkan untuk mengoksidasi *MB* (Yaakob,2012). Energi foton ini yang dapat menyebabkan terjadinya eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi, adanya proses

eksitasi elektron ini menyebabkan adanya *hole* pada fotokatalis. *Hole* inilah yang akan mengoksidasi *methylene blue* ketika bereaksi dengan air, dimana akan menghasilkan radikal hidroksil yang lebih banyak. Sedangkan pada penyinaran menggunakan ultraviolet (UV) fotokatalis hanya mampu menyerap energi foton pada daerah UV untuk mengeksitasi elektron sehingga dihasilkan *hole* yang lebih sedikit daripada penyinaran menggunakan matahari. Sedangkan pada kondisi gelap degradasi *methylene blue* sangat kecil karena fotokatalis tidak menyerap foton untuk mengeksitasi elektron ke pita konduksi sehingga tidak dihasilkan *hole* dalam sistem fotokatalis dan pada fotokatalis hanya bertindak sebagai absorben.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa:

1. pendopongan N pada TiO₂ dapat menurunkan energi bandgap dari TiO₂.
2. Adanya dopan N dapat meningkatkan degradasi metilen biru, adanya pengemban zeolite lebih meningkatkan degradasi metilen biru.
3. Sumber sinar matahari memberikan degradasi metilen biru yang lebih besar dibandingkan sinar UV

DAFTAR PUSTAKA

- ALFINA, B.T., WARDHANI, S., DAN TJAHAJANTO, R.T., 2015, Sintesis TiO₂-N/Zeolit Untuk Degradasi Metilen Biru, *Kimia Student Journal*, Vol. 1, No. 1, 599-605.
- ALINSAFI, A., dkk., 2007, Treatment of Textille of Industry Waste Water by Supported Photocatalysis. Dyes and Pigments-dye Pigment, Vol. 74, No 2, 439-445.
- FATIMAH, I., dkk., 2006, Titanium Oxide Dispersed on Natural Zeolite (TiO₂/Zeolite) and Its Application for Congo Red Photodegradation, *Indo. J. Chem.*, Vol. 6, No. 1, 38-42.
- MANURUNG, R., HASIBUAN, R., & IRVAN, 2004, Perombakan Zat Warna Azo Reaktif Secara Anaerob-Aerob, *e-USU*, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- NAIMAH, S., dkk., 2014, Degradasi Zat Warna pada Limbah Cair Industri Tekstil dengan Metode Fotokatalitik Menggunakan Nanokomposit TiO₂-Zeolit, *J. Kimia dan Kemaasan*, Vol. 36, No. 2, 215-224.
- NOGUEIRA, R.F.P., & JARDIM, W.F., 1993, Photodegradation of Methylene Blue Using Solar Light and Semiconductor (TiO₂), *Journal Chemistry*, Vol. 10, 861-862.
- PALUPI, E., 2006, Degradasi Methylene Blue dengan Metode Fotokatalisis dan Fotoelektrokatalisis Menggunakan Film TiO₂, *Skripsi*, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB, Bogor.
- PARDOYO, LISTIANA, & DARMAWAN, A., 2009, Pengaruh Perlakuan HCl pada Kristalinitas dan Kemampuan Adsorpsi Zeolit Alam Terhadap Ion Ca²⁺, *Jurnal Sains & Matematika (JSM)*, Vol. 17, No. 2, ISSN 0854-0675.
- PERMATASARI, O., WARDHANI, S., DARJITO., 2015, Studi Pengaruh Penambahan H₂O₂ Terhadap Degradasi Methyl Orange Menggunakan Fotokatalis TiO₂-N, *Kimia Student Journal*, Vol. 1, 661-667.
- PRAMBASTO, S.B.J., SUGIYO, W., DAN PRIATMOKO, S., 2014, Sintesis Fotokatalis M/TiO₂ dan Aplikasinya untuk Dekomposisi Air, *Indo. J. Chem. Sci.*, Vol. 3, No.1, 12-16, ISSN 2252-6951
- RAHMAN, T., FADHLULLOH, M.A., NANDIYANTO, A.B.D., dan Mudzakir, A., 2014, Review: Sintesis Titanium Dioksida Nanopartikel, *Jurnal Integrasi Proses*, Vol. 5, No. 1, 15-29.
- RIYANI, K., & SETYANINGTYAS, T., 2010, Penurunan Kadar Sianida Dalam Limbah Cair Tapioka Menggunakan Fotokatalis TiO₂, *Molekul*, Vol. 5, 50-55.
- RIYANI, K., SETYANINGTYAS, T., & DWIASIH, D.W., 2012, Pengolahan Limbah Cair Batik Menggunakan Fotokatalis TiO₂-Dopan-N dengan Bantuan Sinar Matahari, *Valensi*, Vol. 2, No. 5, ISSN 1978-8193.

- SEPTIANA, R., 2014, Pengaruh Penambahan Ion Logam Cu(II) terhadap Dekolorisasi Zat Warna Methylene Blue dan Methyl Orange oleh Komposit TiO₂ Kitosan, *Skripsi*, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, Yogyakarta.
- SUBECHI, A.A., 2011, Studi Degradasi Metilen Biru oleh Komposit Kitosan-TiO₂, *Skripsi*, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, Yogyakarta.
- SYLVIA, F.P., 2015, Pengaruh Komposisi Kitosan-Zeolit Microball pada Fotokatalis TiO₂/N-Zeolit/Kitosan terhadap Fotodegradasi Methylene Blue, *Skripsi*, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Brawijaya, Malang.
- WIDIHATI, I.A.G., DIANTARIANI, N.P., & NIKMAH, Y.F., 2011, Fotodegradasi Metilen Biru dengan Sinar UV dan Katalis Al₂O₃, *Jurnal Kimia*, Vol. 5, No. 1, 31-42, ISSN 1907-9850.
- WIJAYA, K., dkk., 2006, Utilisasi TiO₂-Zeolit dan Sinar UV untuk Fotodegradasi Zat Warna Congo Red, *TEKNOIN*, Vol. 11, No. 3, 199-209, ISSN 0853-8697.
- WISMAYANTI, D.A., DIANTARIANI, N.P., DAN SANTI, S.R., 2015, Pembuatan Komposit ZnO-Arang Aktif sebagai Fotokatalis Untuk Mendegradasi Zat Warna Metilen Biru, *Jurnal Kimia*, Vol. 9, No. 1, 109-116.
- YAAKOB, Z., GOPALAKRISHNAN, A., PADIKKAPARAMBIL, S., 2012, Nanogold Loaded, Nitrogen Doped TiO₂ Photocatalyst for the Degradation of Aquatic Pollutants Under Sun Light, *Solar Power*, Vol 9, 157-170.