UJI AKTIVITAS FOTOKATALIS TIO2 DOPAN-N KOMBINASI ZEOLIT PADA PENGOLAHAN LIMBAH FARMASI

Achmad Wildan* dan Erlita Verdia Mutiara

Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi "Yayasan Pharmasi" Semarang, Indonesia *Email : Achmadwildan58@gmail.com

Abstrak

Titanium dioksida (TiO2) adalah senyawa yang sering digunakan pada proses fotokatalisis, untuk lebih meningkatkan aktivitas fotokatalis TiO2 dapat dilakukan dengan penambahan dopan Nitrogen dari urea, selain itu digunakan pula kombinasi TiO2 dengan suatu adsorben seperti zeolit yang ditambahkan diharapkan dapat mencegah terjadinya rekombinasi electronhole sehingga aktivitas fotokatalisis dalam mendegradasi senyawa organik dan mereduksi senyawa anorganik lebih efektif dan optimal. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh keberadaan senyawa zeolit, serta lama penyinaran terhadap efektivitas proses fotodegradasi siprofloksasin yang terkatalisis TiO2 Dopan-N zeolit dengan adanya ion Cu(II). Penelitian menggunakan reaktor tertutup, pengaduk magnetik dan lampu tungsten sebagai sumber sinar tampak. Penelitian tersebut menunjukkan hasil terjadinya peningkatan siprofloksasin yang terdegradasi dengan waktu penyinaran yang semakin lama. Peningkatan ini disebabkan karena terjadinya peningkatan jumlah radikal •OH yang dihasilkan TiO₂. Variasi penambahan senyawa zeolit menunjukkan semakin besar perbandingan komposisi TiO₂-N: Zeolit, fotodegradasi siprofloksasin mengalami kenaikan. Kondisi optimal pada proses fotokatalisis vang menghasilkan fotodegradasi siprofloksasin paling efektif vaitu. larutan 50 mg/L sebanyak 25 ml, dengan waktu penyinaran 100 menit dan perbandingan TiO₂-N dan Zeolit adalah 35 : 1. Pada kondisi tersebut jumlah siprofloksasin yang mengalami fotodegradasi sebesar 85,49% dan jumlah ion Cu(II) yang mengalami proses reduksi sebesar 92,79%.

Kata kunci: : Fotokatalis TiO2, Ion Tembaga, Siprofloksasin, Spektrofotometer

1. PENDAHULUAN

Limbah zat anorganik seperti logam berat merupakan limbah berbahaya, contoh logam berat yang sering ditemukan yaitu ion logam Cu(II) (Slamet dkk., 2003). Ion Cu(II) dalam jumlah lebih dari 1 mg/L akan berdampak buruk bagi manusia yaitu menyebabkan cirhosis hati (Palar, 1994), sedangkan limbah dengan kandungan senyawa organik seperti residu amoksisilin dapat memicu beberapa reaksi alergi dan menyebabkan resistensi antibakteri pada mikroorganisme (Halling-Sorensen dkk., 1998), sehingga diperlukan metode alternatif untuk mendegradasi senyawa organik dan mereduksi senyawa anorganik agar senyawa tersebut menjadi tidak toksik.

Metode pengolahan limbah yang relatif baru menarik perhatian adalah fotokatalisis, Fotokatalis adalah bahan yang dapat meningkatkan laju reaksi reduksi oksidasi yang diinduksi oleh cahaya. Kelebihan metode fotokatalisis dengan TiO_2 yaitu mendegradasi senyawa organik dan mereduksi senvawa anorganik meniadi komponensederhana komponen dan lebih aman, ekonomis, ramah lingkungan, dan memiliki

serapan di wilayah sinar UV (Permatasari dkk., 2015). Dalam proses fotoreduksi terkatalisis TiO₂, ion Cu(II) akan tereduksi dengan adanya elektron yang dilepaskan dari reaksi fotokatalis setelah menyerap energi foton, membentuk logam Cu yang tidak beracun dan stabil, selain itu metode ini mudah dilakukan, dan tidak memerlukan biaya yang besar. Fotokatalis jika disinari dengan panjang gelombang antara 100-400 nm elektron akan teraktivasi dari pita konduksi valensi menuju pita sehingga menyebabkan terbentuknya hole (muatan positif) pada pita valensi berinteraksi dengan H2O membentuk radikal OH yang bersifat sebagai oksidator kuat sehingga akan mendegradasi senyawa organik dan elektron pada pita konduksi (muatan negatif) yang berguna untuk mereduksi senyawa anorganik (Perdana dkk., 2014).

Pasangan elektron ini bersifat tidak stabil dan dapat terjadi rekombinasi dengan melepaskan panas, karena itu diperlukan senyawa yang dapat menjaga kesetimbangan muatan dalam sistem dengan cara mereduksi dan mencegah rekombinasi electron-hole dengan menambahkan doping pada semikonduktor fotokatalis. Menurut Riyani dkk., (2012) nitrogen memiliki stabilitas yang tinggi ketika di doping kedalam TiO₂. Dengan demikian pada penelitian ini dilakukan sintesis TiO₂ dopan-N untuk meningkatkan aktivitas fotokatalis.

Zeolit merupakan mineral yang terdiri dari kristal alumiosilikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensinya. Zeolit merupakan kristal alumina-silika yang mempunyai struktur berongga atau berpori dan aktif mempunyai sisi yang bermuatan negatif yang mengikat secara lemah kation penyeimbang muatan.

Zeolit terdiri atas gugusan alumina dan gugusan silika-oksida yang masing-masing berbentuk tetrahedral dan saling dihubungkan oleh atom oksigen sedemikian rupa sehingga membentuk kerangka tiga dimensi. Aktivitas dari fotokatalis dapat ditingkatkan dengan fotokatalis mengembankan dalam suatu Pengemban pengemban. yang banyak digunakan yaitu zeolit karena zeolit merupakan batuan alam yang memiliki pori-pori besar dan permukaan yang relatif luas

Pada penelitian ini, digunakan kombinasi fotokatalisis TiO2 Dopan-N dengan Zeolit. Tujuan dari kombinasi ini adalah untuk meningkatkan kemampuan recurs katalis (Asahi, R. dkk 2001).

2. METODOLOGI

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah TiO₂ (Merck), siprofloksasin (Brataco), Urea, CuSO4..5H2O., zeolit, NaOH, H₂SO₄ (p) yang semuanya buatan Merck, akuades, dan kertas saring Whatman 42. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi reaktor fotokatalitik, pengaduk magnetik merk Spinbar dan lampu tungsten 45 watt merk VDR. Alat laboratorium dan instrumen gelas vang digunakan meliputi beaker glass, pipet volum,erlenmeyer, labu takar, corong kaca, neraca analitik, spektrofotometer serapan atom merk Perkin Elmer no seri 3110, dan spektrofotometer UV mini-1240.

Proses fotodegradasi yang terkatalisis TiO₂ Dopan-N dilakukan dengan sistem batch dalam reaktor tertutup yang dilengkapi dengan lampu tungsten dan plat pengaduk magnetik. Proses fotodegradasi dilakukan dengan cara menyinari campuran yang terdiri dari larutan siprofloksasin dengan konsentrasi 50 mg/L sebanyak 25 ml, kemudian ditambah dengan larutan ion logam Cu(II) sebanyak 25 mL, dan

ditambahkan fotokatalis TiO₂-N sehingga diperoleh suspensi.. Erlenmeyer ditutup dengan plastik transparan kemudian disinari dengan lampu tungstein disertai pengadukan selama 20, 40, 60, 80 dan 100 menit. Selanjutnya melakukan variasi Perbandingan TiO2 Dopan-N dan zeolit yaitu 25 : 1, 30 : 1, 35 : 1 dengan penimbangan TiO₂-N sebesar 125 mg, 150 mg dan 175 mg dan penimbangan zeolit sebesar 5 sehingga diperoleh suspensi Untuk memperoleh filtrat dari suspensi tersebut dilakukan penyaringan dengan kertas whatman. Selanjutnya filtrat dianalisis dengan alat spektrofotometer UV untuk menentukan konsentrasi siprofloksasin tidak yang terdegradasi dan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) untuk menentukan konsentrasi ion logam Cu(II) yang tidak tereduksi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

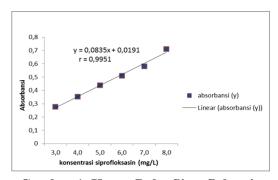
Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh keberadaan senyawa zeolit, serta lama penyinaran terhadap efektivitas proses fotodegradasi siprofloksasin yang terkatalisis TiO₂ Dopan-N zeolit dengan adanya ion Cu(II).

Siprofloksasin sisa yang tidak terdegradasi ditentukan melalui pengukuran dengan UV. Spektrofotometer Hasil proses fotodegradasi dinyatakan dalam persen (%) siprofloksasin yang mengalami degradasi yang diperoleh dari perhitungan selisih jumlah massa siprofloksasin mula-mula dengan jumlah siprofloksasin sisa.

Proses pengukuran terhadap konsentrasi siprofloksasin diawali dengan proses mencari panjang gelombang maksimal dari senyawa siprofliksasin. Proses ini mempunyai tujuan dalam penentuan panjang gelombang yang diperoleh dapat menghasilkan serapan yang maksimal dan memenuhi hukum lambert beer. Dari hasil proses *scanning* yang dilakukan diperoleh nilai serapan siprofloksasin yang maksimal terdapat pada panjang gelombang 272,9 nm.

Dilanjutkan dengan pembuatan kurva baku siprofloksasin. Kurva baku diperoleh dari pembuatan larutan siprofloksasin pada deret konsentrasi tertentu yaitu 3, 4, 5, 6, 7 dan 8 mg/L. Masing-masing dari larutan tersebut diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV pada panjang gelombang 272,9 nm. Setelah data absorbansi diperoleh dilanjutkan dengan pembuatan kurva hubungan antara konsentrasi (x) dengan absorbansi (y). Pada gambar 1

menunjukkan kurva regresi linier dari baku siprofloksasin.



Gambar 1. Kurva Baku Siprofloksasin

Berdasarkan kurva baku siprofloksasin gambar 1, dapat diketahui persamaan linear yang digunakan untuk menghitung konsentrasi siprofloksasin sisa yang tidak terdegradasi dengan y = 0.0835x + 0.0191.

Parameter pengaruh lama waktu penyinaran terhadap fotodegradasi siprofloksasin fotoreduksi ion Cu (II) dengan katalis TiO2-N kombinasi zeolit dilakukan dengan variasi waktu penyinaran yaitu 20, 40, 60, 80 dan 100 menit. Proses dilakukan melalui penyinaran campuran 25 mL larutan Cu (II) 100 mg/L, 25 mL larutan siprofloksasin 50 mg/L dan 125 mg serbuk fotokatalis TiO2-N yang dikombinasi dengan 5 mg serbuk Zeolit teraktivasi dalam reaktor tertutup. Jumlah katalis lebih besar dibandingkan dengan adsorben karena menurut penelitian sebelumnya dari Fogarty dkk. (2013) menyebutkan interaksi antara sinar visibel dan fotokatalis tidak maksimal yang disebabkan oleh jumlah adsorben yang lebih besar jumlahnya daripada foto katalis TiO2 sehingga membuat permukaan fotokatalis tidak merata. Sinar visibel yang berinteraksi dengan TiO₂ sedikit terhalang meniadi oleh material adsorben yang lebih besar jumlahnya daripada material TiO2. Hasil pengaruh lama waktu penyinaran terhadap fotodegradasi siprofloksasin dapat dijelaskan pada tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh Waktu penyinaran Fotokatalis TiO₂-N kombinasi zeolit terhadap Fotodegradasi Siprofloksasin dengan adanya Ion Logam Cu (II)

Lama penyinaran	Siprofloksasin
(menit)	terdegradasi (%)
20	27,74
40	53,31
60	71,06
80	83,56
100	89,88

Untuk memperoleh gambaran yang lebih jelas tentang pengaruh variasi waktu penyinaran terhadap fotodegradasi siprofloksasin maka dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Kurva pengaruh Lama Penyinaran terhadap % Siprofloksasin Terdegradasi

Dari gambar tersebut dijelaskan bahwa semakin lama waktu penyinaran maka semakin besar pula proses fotodegradasi siprofloksasin dan fotoreduksi ion Cu (II) yang terjadi. Dengan makin lamanya waktu penyinaran maka sinar foton yang meradiasi TiO2 semakin banyak, sehingga elektron yang tersedia di permukaan fotokatalis TiO2-N/Zeolit banyak. Semakin banyak elektron yang dihasilkan maka ion Cu(II) lebih banyak bereaksi dengan elektron tersebut. Jika banyak ion Cu(II) yang bereaksi dengan elektron maka dapat dipastikan bahwa penurunan konsentrasi ion Cu(II) dalam larutan semakin meningkat. Hole yang bereaksi dengan H₂O untuk membentuk radikal ●OH juga semakin banyak. Apabila semakin banyak radikal •OH vang terbentuk maka semakin siprofloksasin yang bereaksi besar pula dengannya dan konsentrasi siprofloksasin dalam larutan juga akan semakin menurun.

Fotodegradasi siprofloksasin menggunakan fotokatalis TiO₂-N/Zeolit terjadi melalui proses adsorpsi siprofloksasin ke permukaan partikel

fotokatalis yang secara simultan disertai dengan proses oksidasi fotokatalitik terhadap siprofloksasin. Adanya dopan N dalam TiO₂ meningkatkan aktivitas fotokatalitik di daerah sinar tampak. Semakin lama waktu penyinaran juga, maka proses adsorpsi akan berjalan kontinu, hingga mencapai kondisi maksimum adsorpsi terjadi kesetimbangan dimana sehingga degradasi cenderung stabil mendekati 100%. Reaksi degradasi siprofloksasin:

Gambar 3. Mekanisme Degradasi Siprofloksasin

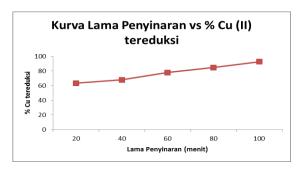
Degradasi merupakan suatu reaksi kimia yang secara bertahap mengubah senyawa makromolekul menjadi senyawa yang lebih sederhana. Gambar 18 menunjukkan bahwa reaksi degradasi siprofloksasin terjadi karena terbentuknya cincin 7-amine, kemudian bagian yang mengandung gugus amina akan mengalami dealkilasi membentuk produk degradasi siprofloksasin yaitu siprofloksasin de piperazin. Apabila reaksi berjalan sempurna maka siprofloksasin akan terdegradasi menjadai molekul CO₂ dan H₂O.

Demikian pula dengan proses fotoreduksi ion Cu (II). Hasil fotoreduksi ion Cu (II) yang diperoleh ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Pengaruh Waktu penyinaran terhadap Fotoreduksi Ion Cu (II) dengan Katalis TiO₂-N kombinasi zeolit dengan Keberadaan Siprofloksasin

Waktu penyinaran	Ion Logam Cu(II)
(menit)	Tereduksi (%)
20	63,37
40	67,79
60	77,81
80	84,66
100	92,65

Dari tabel di atas maka % ion Cu (II) yang tereduksi dengan berbagai variasi waktu penyinaran dapat diperjelas dengan gambar 4.



Gambar 4. Kurva Pengaruh Lama Penyinaran terhadap % Cu Tereduksi

Pada gambar dapat ditunjukkan bahwa pada waktu penyinaran 20 sampai dengan 100 menit terjadi peningkatan proses fotoreduksi ion Cu (II) disebabkan karena semakin lama juga kontak antara fotokatalis TiO2-N/Zeolit dengan energi foton dari sinar lampu maka semakin banyak elektron yang tersedia di permukaan fotokatalis TiO₂. Semakin banyak ion Cu (II) yang bereaksi dengan elektron maka dapat dipastikan bahwa penurunan konsentrasi ion Cu dalam larutan semakin meningkat. Penentuan ion Cu (II) yang tersisa setelah proses fotoreduksi dapat dilihat dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Ion Cu (II) yang tersisa dari hasil fotoreduksi diubah menjadi atom dalam SSA sehingga dapat dianalisis dengan metode ini.

Untuk mengetahui pengaruh penambahan pada katalis TiO₂-N digunakan perbandingan 10:0, 15:1, dan 20:1. Percobaan dilakukan pada kondisi 50 mL larutan siprofloksasin 50 mg/L, 25 mL larutan ion logam Cu(II) 100 mg/L masing-masing erlenmeyer ditambah 125 mg TiO2-N dengan zeolit 5mg (25:1), 150 mg TiO₂-N dengan zeolit 5mg (30:1) dan 175 mg TiO₂-N dengan zeolit 5 mg (35:1) diaduk dengan magnetic stirer dengan penyinaran lampu tungsten dalam reaktor tertutup selama 100 menit.

Persen siprofloksasin yang terdegradasi dengan fotokatalis ${\rm TiO_2}$ yang dikombinasi dengan zeolit hasilnya dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Data rata-rata pengaruh variasi massa katalis TiO_2 dikombinasi dengan zeolit terhadap fotodegradasi siprofloksasin (3x replikasi)

massa TiO ₂ :	siprofloksasin
zeolit	terdegradasi (%)
25:1	71,93
30:1	77,53
35:1	85,49

Untuk memperoleh gambaran yang lebih jelas tentang pengaruh variasi massa katalis TiO₂ dikombinasi dengan zeolit terhadap degradasi siprofloksasin dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 5. Pengaruh variasi massa TiO₂ dengan kombinasi zeolit terhadap fotodegradasi Siprofloksasin

Pada gambar 5 dapat disimpulkan bahwa ada pengaruh penambahan zeolit terhadap fotokatalis TiO₂-N dalam mendegradasi siprofloksasin. Hal ini dapat dilihat dari hasil perbandingan massa katalis tersebut yaitu semakin besar konsentrasi zeolit yang digunakan maka persen siprofloksasin yang terdegradasi semakin banyak.

Hal ini disebabkan karena senyawa zeolit berfungsi sebagai *hole scavenger* yang mengikat elektron pada pita konduksi sehingga terjadi pemisahan muatan, karena adanya pemisahan muatan menyebabkan terbentuknya radikal •OH dan reaksi secara fotokimia oleh sinar foton, sehingga radikal yang terbentuk dapat juga menghambat terjadinya rekombinasi (Hoffman dkk 1995). Semakin banyak radikal •OH yang dihasilkan maka reaksi fotodegradasi siprofloksasin dengan adanya ion logam Cu (II) semakin efektif dan jumlah siprofloksasin yang terdegradasi semakin banyak.

$$TiO_2 - N + hv \longrightarrow hole (h^+) + e^-$$

 $h^+ + H_2O \longrightarrow H_3O^+$

Menurut Lestari (2009), semakin banyak fotokatalis yang digunakan dibandingkan dengan adsorben maka waktu kontak antara fotokatalis dengan adsorben semakin besar sehingga hasil jumlah degradasi oleh katalis menjadi semakin tinggi.

Hasil fotoreduksi ion logam Cu(II) dengan fotokatalis TiO₂ kombinasi zeolit hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Data rata-rata pengaruh variasi massa TiO₂ kombinasi zeolit terhadap fotoreduksi ion Cu(II) (3x replikasi)

Massa TiO2 :	Ion logam Cu (II)
zeolit	tereduksi (%)
25:1	79,49
30:1	87,05
35:1	92,79

Pada tabel 5, persen ion logam Cu(II) yang tereduksi pada berbagai massa fotokatalis TiO₂ dengan kombinasi zeolit dapat diperjelas melalui gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh variasi massa TiO₂ dengan kombinasi zeolit terhadap fotoreduksi ion Cu(II)

Hasil fotoreduksi ion logam Cu (II) juga mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya massa TiO₂-N yang ditambahkan seperti yang terlihat pada gambar 19. Hal ini terjadi karena kenaikan massa TiO₂-N selain meningkatkan jumlah radikal •OH yang dihasilkan juga akan meningkatkan jumlah elektron yang dapat mereduksi ion logam Cu (II), sehingga jumlah ion logam Cu (II) yang tereduksi semakin banyak.

Hal ini terjadi karena penambahan massa zeolit maka zeolit yang dapat berikatan dengan ion Cu(II) dan akan membentuk kompleks dengan ion Cu(II), zeolit akan menghambat terjadinya rekombinasi *electron-hole*, sehingga banyak elekton yang sampai ke permukaan

katalis dan menyebabkan ion Cu(II) lebih banyak tereduksi.

Penambahan zeolit dapat meningkatkan proses fotoreduksi ion Cu(II) seperti dalam penelitian Chen dkk (2008) yang menyatakan penambahan elektrolisis tanpa bahwa pengompleks mempunyai nilai potensial katoda sebesar + 0,340 volt, sedangkan nilai potensial katoda untuk elektrolisis dengan penambahan pengompleks zeolit sebesar +0,895 V. Nilai potensial katode degan pengompleks apabila dibandingkan dengan nilai potensial katoda tanpa pengompleks, menjadi lebih tinggi dan menunjukan bahwa kemampuan reduksi ion tembaga dengan adanya pengompleks menjadi lebih besar, hal ini berpengaruh pada harga potensial sel.

4. KESIMPULAN

- a. Adanya pengaruh penggunaan Zeolit terhadap proses fotodegradasi siprofloksasin dan fotoreduksi ion Cu (II) yang terkatalisis TiO2 Dopan-N
- b. Adanya pengaruh lama penyinaran terhadap fotodegradasi siprofloksasin dan fotoreduksi ion Cu (II).
- c. Adanya pengaruh perbandingan senyawa zeolit dan katalis TiO2-N terhadap proses fotodegradasi siprofloksasin dan fotoreduksi ion Cu (II) .
- d. Kondisi reaksi yang menghasilkan proses fotodegradasi siprofloksasin paling optimum yaitu lama penyinaran 100 menit dan perbandingan TiO2 dan zeolit adalah 35:1.

DAFTAR PUSTAKA

- Asahi,R., Morikawa, T., Ohwaki, T., Aoki, K., Taga,Y. 2001. Visible Light Photocatalysis in Nitrogen-Doped Titanium Dioxide. *Science*.293: 269-271
- Budavari, S. 1989. The Merck Index: An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biological. New Jersey: Merck & Co. Inc.
- Chen, X. and Burda, C. 2008. The Electronic Origin of The Visible-Light Absorption Properties of C-, N- and S-Doped TiO₂ Materials. *J. Am. Chem. Soc.* 15: 5018-5019
- Damayanti, C. A., Wardhani, S., dan Purwonugroho, D. 2014. Pengaruh Konsentrasi TiO₂ dalam Zeolit Terhadap Degradasi *Methylen Blue* Secara Fotokatalitik. Universitas Brawijaya.

- Fogarty, C. 2013. Photocatalytic Oxidation of Ciprofloxacin Under UV-LED Light. Worcester Polytechnic Intitute: 1-40
- Gunlazuardi, J. 2001. Fotokatalisis pada Permukaan TiO₂: Aspek Fundamental dan Aplikasinya. *Prosiding Seminar* Nasional Kimia Fisika II: Kimia Fisika Sebagai Solusi Proses Kimia Industri dan Pelestarian Lingkungan. Jakarta: Kimia FMIPA-UI
- Halling-Sorensen, B., Nors-Nielsen, S., Lanzky, P. F., Ingerslev, F., Holten-Lützhøft, H. C., dan Jørgensen, S. E. 1998. Occurrence, Fate, and Effects of Pharmaceutical Substances in the Environment. *Chemosphere*. **36.** (2): 357–393.
- Hoffmann, M. R., Martin, S. T., Choi, W., dan Bahnemann, D. W. 1995. Environmental Applications of Semiconductor Photocatalysis. *Chem. Rev.* 95: 69-96
- Kokila,P., Senthilkumar, V., & Nazeer,K.P. 2011. Preparation and Photocatalytic Activity of Fe³⁺- Doped TiO₂ Nanoparticles. *Archives of Physics Research*.2.(1): 246-253
- Lestari, D. N. 2009. Studi Preparasi dan Karakterisasi N-doped TiO₂ dengan metode sol-gel menggunakan recursor Titanium Isopropoksida (TTIP) dan Diethylamin (DEA). *Skripsi*. Jakarta: Fakultas MIPA Universitas Indonesia
- Pallar, H. 1994. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Jakarta : Rhineka Cipta.
- Perdana, D. N., Wardhani, S., Khunur, M. 2014. Pengaruh Penambahan Hidrogen Peroksida (H₂O₂) Terhadap Degradasi Methylene Blue Dengan Menggunakan Fotokatalis ZnO-Zeolit. *Kimia Student Journal. Vol.* **2**: 576-582
- Permatasari, S, O., Wardhani S., Darjito.2015. Studi Pengaruh Penambahan H₂O₂ Terhadap Degradasi *Methyl Orange* Menggunakan Fotokatalis TiO₂-N. *Kimia Student Journal.Vol.1*: 661-667.
- Riyani, K., Setyaningtyas, T., Dwiasih, D.W. 2015. Sintesis dan Karakterisasi Fotokatalis TiO2-Cu. Molekul. Vol 10, No 2: 104-111
- Slamet, Syakur R., Danumulyo W. 2003. Pengolahan Limbah Logam Berat Chromium Cr(VI) dengan Fotokatalis TiO_{2.} *Makara TeknologiVol.* **7**. 1 April 2003.