

PENGARUH TiO_2 DAN pH PADA FOTOREDUKSI ION $Cu(II)$ DALAM LARUTAN YANG MENGANDUNG PARACETAMOL

THE EFFECT OF TiO_2 AND pH ON $Cu(II)$ PHOTOREDUCTION IN SOLUTION CONTAINING PARACETAMOL

¹Devina Ingrid A., ²S. Angeliasari

Email : devina.ia@gmail.com

¹Laboratorium Kimia Farmasi, D3 Farmasi, STIKES Nasional Surakarta

²Laboratorium Kimia Farmasi, S1 Farmasi, Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi "Yayasan Pharmasi" Semarang

Intisari

Penelitian tentang fotoreduksi ion $Cu(II)$ dalam larutan yang mengandung parasetamol telah dilakukan. Kajian ini mencoba mengurangi permasalahan lingkungan tercemar logam Cu yang masih menjadi masalah hingga saat ini, dalam pendekatan fotokatalitik. Material fotokatalis, seperti TiO_2 telah mulai dikembangkan secara luas untuk penyelesaian masalah serupa. Salah satu dampak negatif dari perkembangan industri adalah pembuangan air limbah yang dihasilkan dari kegiatan industri. Air limbah industri dapat mengandung zat kimia anorganik dan organik. Limbah anorganik seperti $Cu(II)$ mempunyai ambang batas dalam lingkungan perairan yaitu 1 mg/L. Di lingkungan perairan ion $Cu(II)$ dapat bersama-sama dengan limbah organik seperti parasetamol. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perbedaan massa TiO_2 , pH larutan, dan kondisi optimum terhadap efektivitas proses fotoreduksi ion $Cu(II)$ dengan adanya parasetamol terkatalisis TiO_2 . Fotokatalisis adalah metode yang menggabungkan cahaya ultraviolet dengan partikel semikonduktor sebagai fotokatalis. Proses fotoreduksi ion $Cu(II)$ dilakukan menggunakan reaktor tertutup dilengkapi dengan satu set alat pengaduk magnetik dan lampu UV tipe *black light blue* (BLB). Hasil kemudian dianalisis dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) untuk mengetahui konsentrasi ion $Cu(II)$ sisa dan Spektrofotometer Visibel untuk mengetahui parasetamol sisa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ion $Cu(II)$ yang tereduksi dengan semakin banyaknya massa TiO_2 . Pada massa TiO_2 20 mg sampai 25 mg terjadi peningkatan hasil fotoreduksi $Cu(II)$ yang cukup besar, tetapi pada massa 30 mg sampai 50 mg TiO_2 hasil fotoreduksi ion $Cu(II)$ mengalami penurunan. Pada variasi pH larutan menunjukkan pH 3 sampai 5 efektivitas fotoreduksi ion $Cu(II)$ mengalami kenaikan yang cukup tajam, kemudian pada pH 5 sampai 11 efektivitas fotoreduksi ion $Cu(II)$ mengalami penurunan. Kondisi reaksi yang menghasilkan proses fotoreduksi ion $Cu(II)$ paling efektif yaitu pada kondisi larutan dengan pH 5, yang menggunakan larutan ion $Cu(II)$ 10 mg/L sebanyak 25 ml, dengan penambahan parasetamol 300 mg/L sebanyak 25 ml, TiO_2 sebagai katalis sebanyak 25 mg, dengan waktu penyinaran 30 menit. Pada kondisi tersebut efektivitas fotoreduksi ion $Cu(II)$ sebesar 98,70 % dan persen parasetamol yang terdegradasi sebesar 14,61 %.

Kata kunci : ion $Cu(II)$, parasetamol, fotokatalisis, TiO_2

Abstract

Research on photoreduction of $Hg(II)$ solution containing *p*-chlorophenol has been done. In photocatalytic approach, this study tried to overcome environmental problem due to Hg -polluted water that is still a serious problem now. Photocatalyst material, such as TiO_2 have been developed to support the effort in solving such a problem. One of negative impact of industrial development is disposal of waste water generated from industrial activities. Industrial waste water may contain inorganic and organic chemicals. Anorganic waste such as $Cu(II)$ in the aquatic environment has a threshold of 1 mg/L that present together with organic waste such as paracetamol. This study is purposed to determine the effect of TiO_2 mass and pH, and optimum conditions of TiO_2 catalyzed $Cu(II)$ photoreduction effectiveness. Photocatalysis

combines ultraviolet irradiation and semiconductor particles as photocatalysts in chemical process. Cu(II) photoreduction process was conducted in a closed reactor equipped with a magnetic stirrer and UV lamp black light blue (BLB). After process solution was then analyzed by Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) to determine the remaining Cu(II) concentration and visible spectrophotometer to determine the remaining paracetamol. Results show that Cu(II) ion was reduced increasingly with mass of TiO_2 . Within TiO_2 range of 20 to 25 mg Cu(II) reduction increase moderately, TiO_2 mass of 30 to 50 mg reduction was decreased. Variation of solution pH, within pH 3 to 5 shows the reduction occurs effectively, while it would decrease at pH 5 to 11. Reaction conditions that produce the most effective process are pH 5, Cu(II) concentration of 10 mg/L 25 mL, with the addition of 25 mL paracetamol 300 mg/L, TiO_2 of 25 mg, with irradiation time of 30 minutes. In these conditions Cu(II) ion was reduced effectively by 98.70% and paracetamol degraded by 14.61%.

Key Words : Cu(II) ion, paracetamol, photocatalysis, TiO_2

Pendahuluan

Kebutuhan kesehatan masyarakat mengalami perkembangan yang pesat. Dampak tersebut diikuti dengan perkembangan industri khususnya industri farmasi yang terus meningkat. Dampak negatif perkembangan industri terhadap lingkungan adalah penurunan kualitas lingkungan disebabkan oleh pembuangan air limbah yang dihasilkan dari kegiatan industri.

Limbah yang mengandung zat kimia anorganik diantaranya logam-logam berat yang beracun dan karsinogenik seperti ion tembaga(II). Ambang batas pada lingkungan perairan adalah kurang dari 1 mg/L. Adanya senyawa kimia anorganik dalam lingkungan perairan menimbulkan kekhawatiran dalam hal kesehatan, sehingga perlu adanya proses pengurangan ion Cu(II) di lingkungan. Bahwa pernah dilakukan, penelitian tentang fotoreduksi ion Cu(II) dalam larutan dengan katalis TiO_2 (Wahyuni, dkk., 2007).

Selain limbah anorganik di dalam perairan terdapat pula limbah yang mengandung zat kimia organik dan salah satunya senyawa analgesik seperti parasetamol. Senyawa farmasi tersebut baru-baru ini telah terdeteksi di dalam limbah, permukaan, dan air tanah (Yang, dkk., 2008). Dampak polutan organik ini diantaranya menambah toksisitas air, pengembangan resistensi bakteri patologi, dan gangguan endokrin (Arcand-Hay, dkk., 2008, Kümmerer, 2008). Oleh karena dampak negatif tersebut, maka dilakukan pengembangan teknik untuk menghilangkan senyawa farmasi dari lingkungan melalui proses degradasi.

Sejauh ini, TiO_2 sering digunakan sebagai fotokatalis pada reaksi degradasi polutan organik, seperti zat warna (Lucarelli, 2010, Ramli, 2007), pestisida (Konstantinou, dkk., 2011), senyawa fenolik (Matos, dkk., 2010, Piero, dkk., 2010, Alemany, dkk., 2012, Wastini, 2005) dan asam-asam karboksilat

seperti asam oksalat serta asam malat (Ruhayatun, 2007).

Metode yang menarik perhatian akhir-akhir ini adalah metode yang menggabungkan cahaya ultraviolet dengan partikel semikonduktor sebagai fotokatalis. Air dan fotokatalis dapat menyediakan elektron setelah disinari dengan energi yang sesuai, dan pada saat bersamaan menghasilkan *hole* (h^{+}_{vb}) yang mampu bereaksi dengan air pada permukaan fotokatalis menghasilkan radikal $\bullet OH$. Elektron yang terbentuk akan ditangkap dan digunakan untuk proses fotoreduksi ion Cu(II). Sedangkan radikal $\bullet OH$ yang terbentuk pada *hole* dapat digunakan untuk mengkatalisis proses fotodegradasi. Keuntungan dari proses fotokatalisis ini adalah hanya memerlukan cahaya ultraviolet dan semikonduktor yang harganya murah sehingga metode ini sangat efektif untuk mengatasi polutan anorganik maupun organik (Kanki, dkk., 2012, Wang, dkk., 2012).

Mengingat bahwa berlangsungnya proses fotoreduksi dapat dipengaruhi fotokatalis dan kondisi proses, maka dalam penelitian ini dipelajari pengaruh massa TiO_2 dan pH larutan terhadap proses fotoreduksi ion Cu(II) menjadi Cu(0) dengan adanya parasetamol terkatalisis TiO_2 .

Metode Penelitian

Obyek penelitian

Objek penelitian adalah persentase ion Cu(II) yang tereduksi dan parasetamol yang terdegradasi akibat perbedaan massa TiO_2 dan pH larutan pada proses fotoreduksi ion Cu(II) dengan adanya parasetamol terkatalisis TiO_2 .

Sampel dan Teknik Sampling

Sampel yang digunakan adalah larutan Cu(II) yang berasal dari $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ dan larutan parasetamol. Teknik sampling, menggunakan teknik "Random Sampling", atau dengan cara acak.

Variabel Penelitian

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah Massa TiO₂ yang digunakan yaitu massa 20 mg, 25 mg, 30 mg, 35 mg, 40 mg, 45 mg, dan 50 mg dan pH larutan yang digunakan yaitu 3, 5, 7, 9, dan 11. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah konsentrasi akhir ion Cu(II) dan parasetamol. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah metode yang digunakan untuk mengetahui konsentrasi ion Cu(II) sisa adalah dengan Spektrofotometri Serapan Atom dan parasetamol sisa dengan menggunakan spektrofotometri visibel. Konsentrasi larutan induk ion Cu(II) yang digunakan adalah 1000 mg/L.

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah TiO₂, CuSO₄·5H₂O, parasetamol, NaOH, H₂SO₄ pekat, akuabides dan kertas saring Whatman 42 (φ 110 nm).

Alat

Alat yang digunakan adalah : reaktor yang dilengkapi dengan satu set alat pengaduk magnetik merk Spinbar ukuran 2 cm dan lampu UV tipe *black light blue* (BLB) 20 watt 220 volt merk Philips, erlenmeyer, pipet volum, corong gelas, labu ukur, gelas beker, neraca analitik, Spektrofotometer Serapan Atom merk Perkin Elmer no seri 3110, dan Spektrofotometer UV Visibel spectronic 20D+.

Prosedur Kerja

Pembuatan larutan induk ion Cu(II) 1000 mg/L dibuat dengan cara melarutkan 3,9282 gram CuSO₄·5H₂O dalam akuabides dan diencerkan dalam labu ukur 1000 ml sampai tanda batas. Larutan induk dibuat dengan cara melarutkan 9,9932 gram dalam labu takar 1000 ml kemudian diencerkan hingga tanda batas. Larutan induk parasetamol tersebut selanjutnya diencerkan menjadi 1000 mg/L.

Proses fotoreduksi dilakukan dengan cara menyinari campuran yang terdiri dari larutan ion Cu(II) dengan konsentrasi 10 mg/L sebanyak 25 ml, ditambah larutan parasetamol dengan konsentrasi 300 mg/L, dan ditambahkan serbuk TiO₂ yang bervariasi, yaitu 20 mg, 25 mg, 30 mg, 35 mg, 40 mg, 45 mg, dan 50 mg sehingga diperoleh suspensi. Erlenmeyer ditutup dengan plastik transparan kemudian disinari dengan lampu UV disertai pengadukan selama waktu 30 menit. Kemudian dilakukan penyaringan dengan kertas saring Whatman. Selanjutnya filtrat dianalisis dengan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) guna menentukan konsentrasi ion Cu(II) yang tidak tereduksi

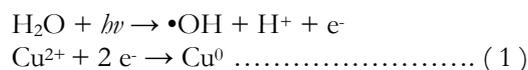
Cara yang sama dilakukan untuk mempelajari pengaruh pH larutan. Untuk mempelajari pengaruh pH larutan terhadap fotoreduksi ion Cu(II) dengan adanya parasetamol TiO₂ digunakan pH bervariasi yaitu 3, 5, 7, 9, dan 11. Selanjutnya filtrat dianalisis

dengan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) guna menentukan konsentrasi ion Cu(II) yang tidak tereduksi dan alat spektrofotometer visibel untuk menentukan konsentrasi parasetamol yang tidak terdegradasi.

Hasil dan Pembahasan

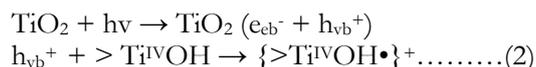
Untuk mengetahui peran fotokatalis dan keberadaan parasetamol terhadap efektivitas fotoreduksi ion Cu(II) telah dilakukan proses fotoreduksi ion Cu(II) tanpa maupun dengan penambahan fotokatalis TiO₂. Selain itu, untuk mengetahui peran permukaan fotokatalis, dilakukan proses pengadukan ion Cu(II) dengan TiO₂ pada tempat yang gelap dan terang.

Pengurangan konsentrasi ion Cu(II) selama penyinaran tanpa adanya fotokatalis TiO₂ terjadi oleh adanya reaksi reduksi ion Cu(II) oleh elektron yang dihasilkan oleh peruraian molekul H₂O setelah menyerap sinar UV atau energi foton (*hν*). Reaksi penyerapan cahaya oleh H₂O selain menghasilkan elektron juga menghasilkan radikal •OH dan H⁺ yang disebut dengan reaksi fotolisis (Burrows, dkk., 2006). Reaksi fotolisis molekul air dan reaksi reduksi ion Cu(II) dituliskan sebagai berikut :



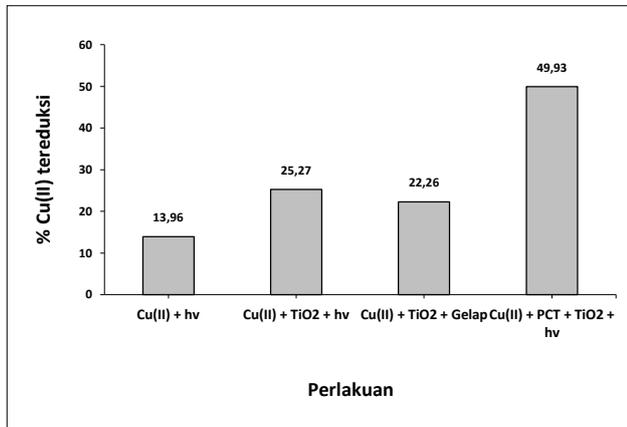
Reaksi reduksi dari fotolisis molekul H₂O ini memberikan hasil yang relatif rendah karena proses pelepasan elektron oleh molekul air relatif sulit.

Dari gambar 1 menunjukkan bahwa TiO₂ dapat menyediakan elektron dan juga radikal •OH dalam jumlah yang cukup besar setelah fotokatalis tersebut dikenai sinar UV. Pelepasan elektron pada TiO₂ jauh lebih efektif dibandingkan pada molekul air sehingga jumlah elektron yang dihasilkan relatif lebih banyak. Hal ini menjelaskan mengapa terjadi peningkatan efektivitas fotoreduksi ion Cu(II) yang relatif besar dengan adanya fotokatalis. Reaksi fotokatalis dapat ditunjukkan oleh reaksi (Hoffman, dkk., 2011) :



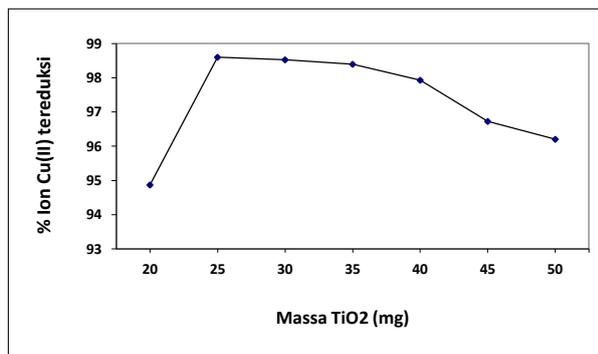
Sedangkan pada penurunan konsentrasi ion Cu(II) pada keadaan tanpa cahaya sangat mungkin terjadi karena pada ion logam tersebut terjadi adsorpsi pada permukaan fotokatalis TiO₂. Dalam proses adsorpsi ini pada reaksi fotoreduksi yang dikatalisis TiO₂ diawali dengan adsorpsi ion Cu(II) pada permukaan fotokatalis.

Selanjutnya, terjadi reaksi reduksi dengan cara ion Cu(II) yang telah terserap pada permukaan fotokatalisis mengalami kontak dengan elektron pada permukaan TiO_2 .



Gambar 1. Pengaruh fotokatalis TiO_2 , cahaya, dan adanya parasetamol terhadap fotoreduksi ion Cu(II)

Keberadaan parasetamol juga memberikan pengaruh terhadap efektivitas fotoreduksi ion Cu(II) yang dikatalisis TiO_2 , karena parasetamol dapat bereaksi dengan radikal $\bullet OH$ yang tersedia dalam sistem reaksi. Reaksi pengikatan radikal $\bullet OH$ oleh parasetamol ini dapat mencegah terjadinya penggabungan kembali antara elektron dengan radikal $\bullet OH$. Dengan demikian, jumlah elektron yang tersedia untuk mereduksi ion Cu(II) lebih banyak, sehingga hasil fotoreduksi meningkat.

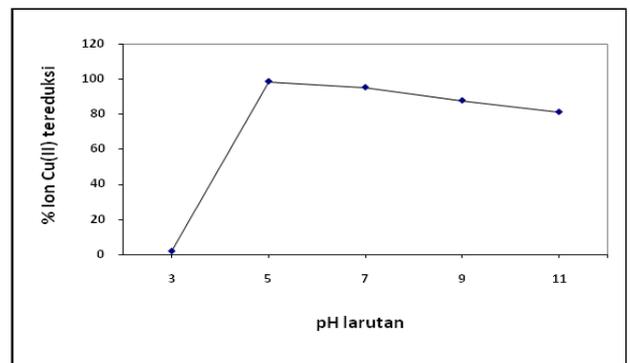


Gambar 2. Pengaruh massa TiO_2 terhadap efektivitas fotoreduksi ion Cu(II) dengan adanya parasetamol yang terkatalisis TiO_2

Gambar 2 menunjukkan bahwa ion Cu(II) yang tereduksi dengan semakin banyaknya massa TiO_2 . Hal ini mengindikasikan bahwa kenaikan massa fotokatalis yang digunakan akan meningkatkan jumlah elektron yang dihasilkan dari TiO_2 . Adanya elektron yang semakin meningkat maka reaksi fotoreduksi ion Cu(II) dengan adanya parasetamol semakin efektif

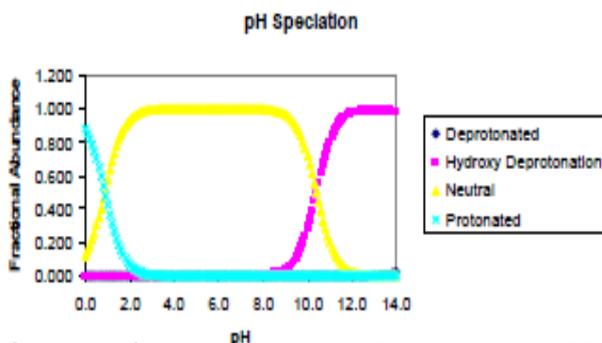
sehingga jumlah ion Cu(II) yang tereduksi semakin banyak. Namun massa TiO_2 yang semakin tinggi lagi juga meningkatkan kekeruhan dari suspensi akibatnya akan menghambat penyerapan radiasi oleh TiO_2 , sehingga menurunkan pembentukan elektron dan menurunkan proses fotoreduksi.

Pengaruh pH larutan terhadap hasil fotoreduksi ion Cu(II) dengan adanya larutan parasetamol yang terkatalisis TiO_2 telah dipelajari pada penelitian ini. Hal ini karena spesiasi ion Cu(II), TiO_2 , dan parasetamol merupakan fungsi pH larutan. Jenis spesies yang ada dalam larutan menentukan kemudahan ion Cu(II) untuk tereduksi, TiO_2 untuk melepaskan elektron, dan parasetamol untuk mengalami degradasi. Pengaruh pH larutan terhadap efektivitas fotoreduksi ion Cu(II) dengan adanya parasetamol yang dikatalisis TiO_2 dipelajari dengan cara melakukan reaksi fotoreduksi pada berbagai pH larutan.



Gambar 3. Pengaruh pH larutan terhadap efektivitas fotoreduksi ion Cu(II) dengan adanya parasetamol yang terkatalisis TiO_2

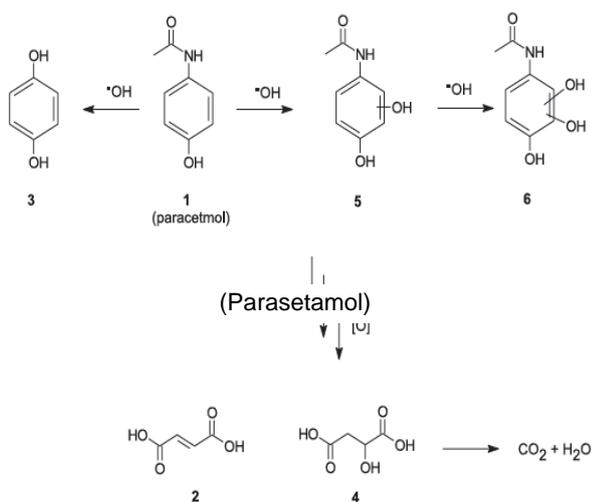
Didasarkan pada spesiasi ion Cu(II) dapat diberikan penjelasan sebagai berikut. Pada pH 3 sampai 5, ion Cu(II) berada sebagai campuran antara Cu^{2+} dengan $Cu(OH)^+$ dengan fraksi Cu^{2+} yang lebih dominan, sedangkan $Cu(OH)^+$ dalam fraksi yang lebih rendah. Diantara kedua spesies tersebut, Cu^{2+} merupakan spesies yang lebih mudah mengalami reduksi. Pada pH 5 sampai 11 keberadaan ion Cu(II) sebagai Cu^{2+} menurun dengan meningkatnya pH, sedangkan fraksi $Cu_2(OH)_2^{2+}$ menurun dan $Cu(OH)_3^-$ meningkat. Hal tersebut membuat ion Cu(II) yang tereduksi semakin sedikit. Selain itu, pembahasan juga dapat dikemukakan berdasarkan spesiasi TiO_2 . Spesies TiO_2 lebih mudah melepaskan elektron dari permukaan jika dalam bentuk $TiOH$. $TiOH$ terbentuk pada pH 4,5 sampai dengan 8 (Hoffman, 2011). Pada pH < 4,5 TiO_2 berada sebagai $>TiOH_2^+$, sedangkan pada pH 4,5 sampai 8 berada dalam bentuk dominan $>TiOH$ sehingga dapat menyediakan elektron dalam jumlah besar. Pada pH > 8 TiO_2 berada dalam bentuk TiO^- sehingga sulit untuk menyediakan elektron.



Gambar 4. Spesiasi parasetamol dalam berbagai pH (Larson dan Weber, 2008)

Apabila pembahasan ditinjau dari spesiasi parasetamol maka dapat dikemukakan sebagai berikut. Pada pH 2 sampai 10 parasetamol stabil berada dalam bentuk dominan sebagai parasetamol netral. Radikal •OH yang disediakan oleh TiO₂ akan lebih mudah bereaksi dengan parasetamol dalam bentuk netral. Akibatnya parasetamol yang terdegradasi semakin banyak. Hal tersebut dapat meningkatkan efektivitas fotoreduksi ion Cu(II) karena dapat mencegah penggabungan kembali elektron dengan radikal •OH.

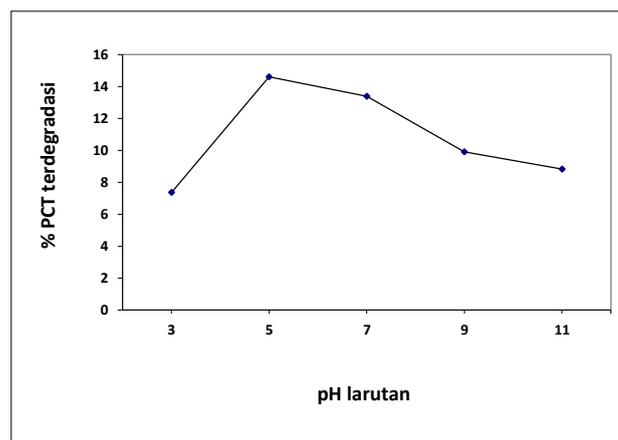
Telah dilaporkan bahwa parasetamol dapat mengalami fotodegradasi terkatalisis TiO₂ (Ilza Dalmazio, dkk., 2008). Senyawa parasetamol dapat mengalami fotodegradasi, karena substrat yang dapat mengalami fotodegradasi adalah senyawa yang mampu menyerap sinar UV atau foton (hv). Senyawa parasetamol dapat menyerap sinar UV pada panjang gelombang 242,5 nm - 243,5 nm. Jika senyawa parasetamol menyerap sinar UV, maka ikatan pada molekul tersebut akan tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi, sehingga menjadi tidak stabil dan mudah terurai menjadi senyawa yang lebih kecil. Reaksi peruraian ini disebut fotodegradasi yang dapat dijelaskan sebagai berikut :



Gambar 5. Reaksi fotodegradasi senyawa parasetamol (Ilza Dalmázio, dkk., 2008)

Pada awal proses fotodegradasi tersebut, senyawa parasetamol diserang oleh radikal •OH. Radikal •OH menyerang pada cincin aromatik senyawa parasetamol (1), serangan ini dapat mengarah pada pembentukan hidroquinon (3), yang melibatkan substitusi dari bagian parasetamol oleh radikal •OH dan dua isomer pada posisi monohidroksi parasetamol (5), melalui sebuah serangan elektrofilik radikal •OH pada kedua posisi yang tersedia dari cincin aromatik parasetamol (1). Sehingga senyawa (5) dapat lebih mudah dihidroksi melalui mekanisme substitusi elektrofilik untuk menghasilkan dihidroksi parasetamol (6). Sehingga terjadi oksidasi terus menerus sebagai produk intermediet dengan pembentukan asam fumarat (2), asam malat (4) yang lebih lanjut dapat dikonversi menjadi CO₂ dan H₂O yang dikenal dengan proses mineralisasi.

Untuk mengetahui persentase parasetamol yang terdegradasi digunakan larutan sisa hasil perlakuan pengaruh pH larutan pada proses fotoreduksi ion Cu(II) dengan adanya parasetamol yang terkatalisis TiO₂.



Gambar 6. Pengaruh pH larutan pada degradasi parasetamol terhadap proses fotoreduksi ion Cu(II) yang terkatalisis TiO₂

Gambar 6 menunjukkan bahwa pada pH 3 sampai 5 efektivitas degradasi parasetamol mengalami kenaikan, namun pada pH 5-11 mengalami penurunan yang cukup tajam. Hasil penelitian pengaruh pH ini dapat dijelaskan berdasarkan spesiasi ion Cu(II), permukaan TiO₂ dan parasetamol. Berdasarkan penjelasan diatas dapat diketahui bahwa jika didasarkan pada spesiasi ion Cu(II) maka reaksi reduksi berlangsung optimal pada pH 4-5. Dari spesiasi TiO₂ dapat disimpulkan bahwa efektivitas proses fotokatalitik terjadi pada pH 4,5-8. Jika didasarkan pada spesiasi parasetamol maka parasetamol yang paling mudah teroksidasi berada pada pH 2-10 dengan bentuk struktur parasetamol netral. Sehingga dari data yang diperoleh dapat

disimpulkan bahwa fotoreduksi ion Cu(II) maupun fotodegradasi parasetamol dapat berjalan simultan dan efektif pada pH 5.

Simpulan

Adanya variasi massa TiO₂ dan perbedaan pH larutan dapat mempengaruhi efektivitas fotoreduksi ion Cu(II). Dalam penelitian ini, proses fotoreduksi dan fotodegradasi berlangsung optimum pada pH 5. Kondisi reaksi yang menghasilkan proses fotoreduksi ion Cu(II) paling efektif yaitu pada larutan dengan pH 5, menggunakan larutan ion Cu(II) 10 mg/L sebanyak 25 ml, penambahan parasetamol 300 mg/L sebanyak 25 ml, TiO₂ sebanyak 25 mg, waktu penyinaran 30 menit. Pada kondisi tersebut efektivitas fotoreduksi ion Cu(II) 98,70 % dan parasetamol terdegradasi 14,61 %.

Perlu dipelajari pengaruh adanya ion logam, anion, dan senyawa organik lain terhadap efektivitas fotoreduksi ion Cu(II), mengingat bahwa ion Cu(II) di lingkungan perairan sangat mungkin ada bersama-sama dengan ion logam, anion, maupun senyawa organik lainnya.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Dra. Sri Haryanti, M. Si., Apt. dan Wahyuning Setyani, M. Sc., Apt. yang telah bersedia memberikan fasilitas selama pelaksanaan penelitian. Selain itu, penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Dra. Erlita Verdia Mutiara, M. Si., Apt. dan Ety Sulistyowati, M. Sc. Yang telah memberikan saran maupun diskusi mengenai bidang penelitian kimia farmasi.

Daftar Pustaka

- Alemany, L. J., Banares, M. A., Pardo, E., Martin, F., Galan-Fereres, M., dan Blasco, J. M. 2012. Photodegradation of Phenol in Water Using Silica Supported Titania Catalysis. *Appl. Catal. B : Environ.* **13** : 289-297
- Arcand-Hoy, L. D., Nimrod, A. C., dan Benson, W. H. 2008. Endocrine Modulating Substances in the Environment Estrogenic Effects of Pharmaceutical Products. *Int. J. Toxicol.* **17**. (2) : 139-158
- Burrows, H. D., Ernestova, L. S., Kemp, T. J., Skurlatov, Y. I., Purmal, A. P., dan Yermakov, A.N. 2006. Kinetics and Mechanism of Photodegradation of Chlorophenols. *Sci. and Tech. Letters.* **23** : 145-207
- Hoffmann, M. R., Martin, S. T., Choi, W., dan Bahnemann, D. W. 2011. Environmental Applications of Semiconductor Photocatalysis. *Chem. Rev.* **95** : 69-96
- Ilza Dalmázio, Tânia, M. A., Alvesb., dan Rodinei, A. 2008. An Appraisal on the Degradation of Paracetamol by TiO₂/UV System in Aqueous Medium. Product Identification by Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). *Chem. Soc.* **19** : 81-88
- Kanki, T., Yoneda, H., Sano, N., Toyoda, A., dan Nagai, C. 2012. Photocatalytic Reduction and Deposition of Metallic Ions in Aqueous Phase. *Chem. Eng.* **97** : 77-81
- Kümmerer, K. 2008. Resistance in the Environment. *J. Antimicrob. Chemother.* **54**. (2) : 311-320
- Konstantinou, I. K., Sakellariades, T. M., Sakkas, V. A., dan Albanis, T. A. 2011. Photocatalytic Degradation of Selected s-Triazine Herbicides and Organophosphorus Insecticides Over Aqueous TiO₂ Suspensions. *Environ. Sci. Technol.* **35** : 398-405
- Larson, R. A. dan Weber, E. J. 2008. *Reaction Mechanism in Environmental Organic.* Lewis Publishers : CRC Press Inc 331
- Lucarelli, L., Nadtochenko, V., dan Kiwi, J. 2010. Environmental Photochemistry Quantitative Adsorption and FTIR Studies During the TiO₂ Photocatalyzed Degradation of Orange II. *Langmuir.* **16** : 1102-1108
- Matos, J., Laine, J., dan Herrmann, J. M. 2010. Effect of the Type of Activated Carbons on the Photocatalytic Degradation of Aqueous Organic Pollutants by UV-Irradiated Titania. *J. Catal.* **200** : 10-20
- Piero, A. M., Ayllon, J. A., dan Domenech, X. 2010. TiO₂-Photocatalyzed Degradation of Phenol and Ortho-substituted Phenolic Compounds. *Appl. Catal. B : Environ.* **30** : 359-373
- Ramli, R. 2007. Kajian Fotodegradasi Zat Warna Orange II yang Terkatalisis oleh TiO₂. *Skripsi.* Yogyakarta : FMIPA UGM
- Ruhayatun, S. 2007. Pengaruh Asam Oksalat dan Asam Malonat Terhadap Efektivitas Fotoreduksi Ion Cr(VI) Terkatalisis TiO₂. *Skripsi.* Yogyakarta : F. MIPA UII
- Wahyuni, E. T., Mudasir, dan Aprilita, N. 2007. Study on Photocatalytic Reduction of Cu(II) ions by UV Light and TiO₂. *Proceeding of ICCS.* Yogyakarta Indonesia : Chemistry Department Faculty of Matematic and Natural Sciences. **19** : 1-4
- Wang, X., Pchkoncn, S. O., dan Ray, A. K. 2012. Photocatalytic Reduction of Hg (II) on Two Commercial TiO₂ Catalysts. *Electrochimica Acta.* **49** : 1435-1444