

FOTODEGRADASI SIANIDA DALAM LIMBAH CAIR TAPIOKA

Kapti Riyani*, Tien Setyaningtyas

Staf pengajar Prodi Kimia Jurusan MIPA FST UNSOED

*e-mail : kapti.riyani@gmail.com

ABSTRAK

Sianida banyak terdapat pada limbah cair tapioka. Sianida dapat didegradasi menggunakan fotokatalis TiO_2 dengan aktivasi sinar UV, sinar UV dapat berasal dari lampu UV dan sinar matahari. Tujuan dari penelitian ini adalah mendegradasi sianida menggunakan fotokatalis TiO_2 menggunakan sumber sinar lampu UV dan sinar matahari.

Fotokatalis TiO_2 yang digunakan dalam penelitian ini dibuat lapis tipis pada plat kaca dengan ukuran $7 \times 10 \text{ cm}^2$. Variasi sumber sinar yaitu lampu UV dan sinar matahari dipelajari pada pH 9.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan kadar sianida menggunakan sumber sinar lampu UV dengan lama penyinaran 8 jam sebesar 90,69 %, sedangkan penurunan kadar sianida menggunakan sumber sinar matahari dengan lama penyinaran 8 jam sebesar 98,74 %.

Kata kunci : Fotokatalis, TiO_2 , sianida, degradasi

PHOTODEGRADATION OF CYANIDE IN TAPIOCA WASTEWATERS

ABSTRACT

Cyanide is widely available in tapioca wastewater. Cyanide can be degraded by used TiO_2 photocatalysts with activated by UV light, UV light can be derived from UV lamp and sunlight. The aim of this research is to degrade cyanide using TiO_2 photocatalysts using UV lamp and sun light as a source.

TiO_2 photocatalyst used in this study was made thin layers on glass plates with a size of $7 \times 10 \text{ cm}^2$. Variation of the light source is a UV light and sunlight studied at pH 9.

The results suggest that decreased levels of cyanide using UV light source with a long 8 hours of irradiation at 90.69%, while decreasing levels of cyanide using a source with a long exposure to sunlight for 8 hours of 98.74%.

Key word : Photocatalyst, TiO_2 , cyanide, degradation

PENDAHULUAN

Sianida adalah racun yang sangat mematikan dan digunakan sejak ribuan tahun yang lalu. Efek dari sianida ini sangat cepat dan dapat mengakibatkan kematian dalam jangka waktu beberapa menit (Wahyudhy, 2006). Sianida dalam tubuh manusia dapat menghambat

pernafasan jaringan. Kadar sianida yang tinggi dalam darah dapat menyebabkan efek seperti jari tangan dan kaki lemah, susah berjalan dan pandangan buram (Setiadji, 1990). Sianida biasanya ditemukan tergabung dalam bahan kimia lain membentuk suatu senyawa sianida. Sebagai contoh senyawa sianida yang sederhana adalah hidrogen sianida.

Hydrogen sianida disebut juga formonitril, sedang dalam bentuk cairan disebut asam hidrosianik (Wahyudhy, 2006).

Sianida dapat ditemukan pada rokok, asap kendaraan bermotor, dan makanan seperti bayam, bambu, kacang, tepung tapioka dan singkong (Nio, 1989). Kadar sianida rata-rata dalam singkong manis di bawah 50 mg.kg^{-1} berat asal, sedangkan singkong pahit di atas 50 mg.kg^{-1} berat asal. Menurut FAO, singkong atau umbi-umbian dengan kadar HCN dibawah 50 mg.kg^{-1} masih aman untuk dikonsumsi manusia (Winarno, 1995). Menurut Suprapti (2005) menyatakan bahwa di dalam daging umbi dan kulit singkong terdapat racun yang dikenal dengan nama hydrocyan atau HCN. Racun tersebut tidak terdapat dalam keadaan berdiri sendiri, melainkan terikat dalam suatu rangkaian yang dikenal dengan nama glukosida sianogenik, yang terdiri dari glukosa, aseton dan HCN. Cara terbaik mengurangi atau menghilangkan racun tersebut adalah dengan membuat tepung tapioka atau kanji dari singkong tersebut. Apabila singkong tersebut diparut, maka sel-selnya menjadi pecah sehingga glukosida dan HCN akan terpisah. Oleh karena pekerjaan membuat tepung itu membutuhkan banyak air dan air tersebut harus sering diperbaharui, maka glukosida maupun sianida itu akhirnya turut terbuang sebagai limbah.

Industri tapioka merupakan salah satu industri yang berkembang pesat di Indonesia. Industri ini menghasilkan limbah padat dan cair. Limbah padat industri tapioka dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, seperti; limbah padat yang berasal dari proses pengupasan ketela pohon dari kulitnya yaitu berupa kotoran dan kulit serta pada waktu pemrosesan yang berupa ampas dimana sebagian besar berupa serat dan pati dapat dimanfaatkan sebagai makanan ternak, pupuk, bahan campuran saus, dan obat nyamuk bakar. Sedangkan Limbah cair yang dihasilkan dari proses pembuatan, baik dari

pencucian bahan baku sampai pada proses pemisahan pati dari airnya dapat dimanfaatkan untuk minuman *nata de cassava*. Limbah industri tapioka yang mempunyai kandungan bahan organik yang tinggi (termasuk didalamnya yaitu sianida), apabila tidak diolah dengan baik dan benar dapat menimbulkan berbagai masalah bagi kesehatan, misalnya: gatal-gatal, timbul bau yang tidak sedap, air limbah bila masuk ke dalam tambak akan merusak tambak sehingga ikan mati, estetika sungai berubah dan lain-lain (Wahyuadhy, 1996).

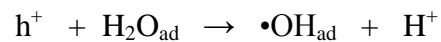
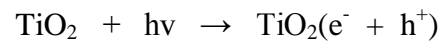
Fotokatalisis merupakan kombinasi proses dari fotokimia dan katalisis, dimana diperlukan sinar UV dan katalis (semikonduktor) untuk melangsungkan suatu transformasi kimia. Proses fotoreduksi dan fotooksidasi dimulai pada saat fotokatalis mengadsorbsi energi foton dengan energi yang sama atau lebih besar dari energi celah semikonduktor (TiO_2 mempunyai energi celah sebesar 3.2 eV) sehingga elektron akan tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi. Pasangan elektron (e^-) dan *hole* (h^+) yang terbentuk dapat berekombinasi dan melepaskan panas atau menyebabkan reaksi oksidasi dan reduksi dengan transfer muatan ke spesies yang teradsorbsi pada permukaan semikonduktor. *Hole* (h^+) yang dihasilkan TiO_2 merupakan oksidator kuat yang akan mengoksidasi spesi kimia lainnya yang mempunyai potensial oksidasi +1.0 V sampai +3.5 V (relatif terhadap elektroda hydrogen-Nerst) (Hoffmann, 1995), termasuk air dan/atau gugus hidroksil yang akan menghasilkan radikal hidroksil. Radikal hidroksil ini pada $\text{pH} = 1$ mempunyai potensial sebesar 2.8 V, dan kebanyakan zat organik mempunyai potensial redoks yang lebih kecil dari potensial tersebut, sehingga kebanyakan zat organik dapat dioksidasi menjadi CO_2 (Gunlazuardi, 2001). Sementara elektron pada pita konduksi merupakan reduktor kuat yang akan mereduksi spesi kimia lainnya yang mempunyai potensial reduksi +0.5 V sampai -1.5 V (relatif

terhadap elektroda hydrogen-Nerst) (Hoffmann, 1995). Energi foton yang digunakan untuk eksitasi elektron dari fotokatalis TiO₂ adalah sinar UV dan sinar tampak. (Yan-fen, 2007 ; Sopyan, 1998 dan Linsebigler, 1995). Disamping TiO₂, semikonduktor lain seperti ZnO dan WO₃ mempunyai karakter yang sebanding dengan TiO₂ dalam hal energi band gap dan potensial redoksnya. Namun TiO₂ paling banyak digunakan sebagai fotokatalis karena paling stabil (tahan terhadap korosi) dan harganya relatif murah (Gunlazuardi, 2001).

Fotokatalisis heterogen menggunakan titanium dioksida merupakan metode yang efisien untuk mendegradasi secara lengkap senyawa organik dalam fase cair dan gas. Pencemar yang mengandung karbon, hidrogen, nitrogen, sulfur dan atom halogen akan terdegradasi menjadi CO₂, H₂O, anion NO₃⁻, SO₄²⁻, dan halida (Hoffmann, 1995). Metode fotokatalitik TiO₂ berhasil digunakan dalam beberapa aplikasi komersial, termasuk pemurnian air, unit pembersih udara, pelapis antimikroba dan kaca *self-cleaning*. Jumlah paten yang berkaitan dengan degradasi senyawa organik yang berbahaya menggunakan teknik fotokatalitik terus meningkat. Namun, kebanyakan dari mereka masih menggunakan sumber sinar dari lampu UV karena energi celah pita dari TiO₂ cukup besar (3,2 eV) sehingga bila menggunakan sinar matahari kurang efisien karena hanya menggunakan ± 5 % dari spektrum sinar matahari (fraksi UV cahaya matahari) (Anpo, 2000).

Fotodegradasi sianida (CN⁻) telah dilakukan dengan menggunakan TiO₂, CdS, ZnO, V₂O₅, dan Fe₂O₃ sebagai katalis. Akan tetapi, hanya TiO₂ dan ZnO yang memberikan hasil memuaskan (Dabrowski, 2005). Menurut Pollema (1992), sianida akan teroksidasi menjadi sianat kemudian menjadi nitrat menggunakan TiO₂ Degussa P-25.

Mekanisme dasar proses fotokatalisis adalah terbentuknya pasangan elektron-hole pada permukaan katalis semikonduktor ketika diinduksi oleh energi foton yang sesuai (Gunlazuardi, 2001). TiO₂ dapat mengkatalisis reaksi reduksi dan oksidasi. Reaksi oksidasi dapat terjadi karena lubang positif yang terbentuk selama aktivasi fotokatalis akan mengoksidasi ion hidroksi atau air pada permukaan katalis menghasilkan radikal hidroksil HO•. Radikal ini akan mengoksidasi senyawa organik pada limbah cair tekstil. Mekanisme reaksi digambarkan oleh Sonawane et. al. (2006), tahapannya sebagai berikut:



radikal hidroksil •OH yang dihasilkan memiliki peranan penting dalam mengoksidasi senyawa organik. Semakin tinggi pembentukan radikal hidroksil maka akan semakin besar pula kemampuan fotokatalis untuk mengoksidasi senyawa organik. Proses fotokatalisis menggunakan katalis semikonduktor secara efektif mampu mendegradasi berbagai jenis polutan organik, baik dalam fasa gas maupun cair. Proses fotooksidasi dapat mendegradasi senyawa-senyawa organik menjadi produk anorganik yang aman bagi lingkungan, yaitu CO₂ dan H₂O (Slamet, 2006). Dalam penelitian ini, digunakan fotokatalis TiO₂ karena TiO₂ mempunyai aktivitas fotokatalis yang tinggi, mudah didapat, serta mempunyai kestabilan kimia dan ketahanan fotokorosi yang baik (Slamet, 2006).

Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari pengaruh sumber sinar yaitu lampu UV dan sinar matahari dalam mendegradasi sianida pada limbah cair tapioka pada pH 9 dimana merupakan pH

optimum dari penurunan kadar sianida pada limbah cair tapioka menggunakan TiO_2 (Riyani, 2010).

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Magnetic Stirrer (REXIM RSH-1DM), indikator universal, Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu 1800), Hair dryer (Phillips), Beker gelas, labu ukur, Lampu UV (Himawari) 10 watt.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah TiO_2 (Merch), aquadest (Bratachem), KOH (Merch), KCN (Merch), etanol (Merch), CuSO_4 (Merch), HCl (Merch) dan NaOH (Merch).

Prosedur Penelitian

Penentuan Sianida.

Sebanyak 25 mL larutan standar sianida dimasukkan ke dalam 6 buah labu takar 50 mL dengan konsentrasi masing-masing 0, 1, 2, 3, 4 dan 5 ppm. Kemudian masing-masing ditambah 10 mL KOH 0,05 % dan 10 mL larutan pp- CuSO_4 , lalu diencerkan sampai 50 mL dan dibiarkan sampai terbentuk warna merah muda. Setelah itu, diukur absorbansinya dengan spektrofotometer sinar tampak pada panjang gelombang maksimum. Percobaan yang sama dilakukan untuk sampel limbah cair tapioka.

Pembuatan Lapis Tipis TiO_2 .

Plat kaca berukuran 3 cm x 7 cm dimasukkan ke dalam suspensi TiO_2 15% (b/v), selanjutnya plat kaca dikeringkan dengan hair dryer. Plat kaca selanjutnya dipanaskan pada suhu 120 °C selama 1 jam.

Fotodegradasi Sianida Menggunakan TiO_2 /lampu UV.

Sebanyak 1 gelas beaker 500 ml yang berisi 250 ml limbah tapioka, yang dikondisikan pada pH 9 dimana merupakan pH optimum untuk fotodegradasi sianida (Riyani, 2010) dengan cara menambahkan HCl 1 N atau NaOH 1 N ke dalam sampel air limbah. Sampel yang telah dikondisikan pada pH 9 kemudian dilakukan analisis kadar sianida awal. Lapis tipis TiO_2 dimasukkan pada sampel air limbah dan ditempatkan dalam reaktor tertutup sambil disinari lampu ultraviolet selama 10 jam dan dianalisis kadar sianidanya setelah penambahan fotokatalis TiO_2 .

Fotodegradasi Sianida Menggunakan TiO_2 /sinar matahari.

Sampel air limbah sebanyak 250 mL dimasukkan ke dalam gelas beker 500 mL kemudian dikondisikan pada pH 9. Kemudian lapis tipis TiO_2 dimasukkan ke dalam sampel air limbah yang telah dikondisikan pada pH optimum dan ditempatkan pada daerah dimana terkena sinar matahari secara langsung. Penentuan kadar sianida dilakukan setelah penyinaran selama 0, 1, 2, 4, 6, 8 jam.

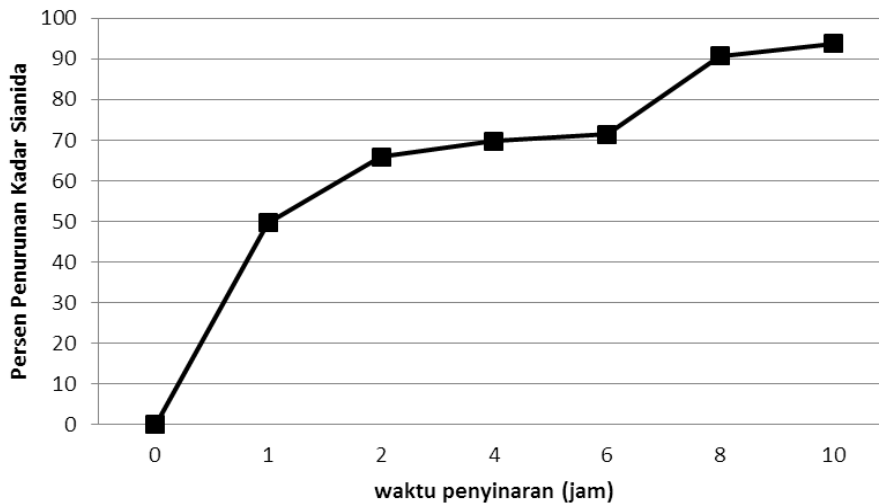
HASIL DAN PEMBAHASAN

Fotodegradasi Sianida Menggunakan TiO_2 /lampu UV.

Aktivitas fotokatalis TiO_2 dipengaruhi oleh sumber sinar yang digunakan. Penentuan aktifitas fotodegradasi sianida menggunakan lampu UV dipelajari dengan menggunakan limbah cair tapioka yang dikondisikan pada pH optimum yaitu pH 9 (Riyani, 2010), kemudian pengambilan sampel dilakukan dengan variasi waktu penyinaran 1, 2, 4, 6, 8 dan 10 jam di dalam reaktor fotokatalitik. Hasil analisis kadar sianida yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 1. Pengaruh waktu penyinaran lampu UV sebagai sumber sinar terhadap aktifitas fotokatalis TiO₂

Waktu (jam)	0	1	2	4	6	8	10
Penurunan Kadar Sianida (%)	0	49,66	65,85	69,79	71,38	90,69	93,79



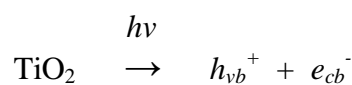
Gambar 1. Pengaruh waktu penyinaran lampu UV sebagai sumber sinar terhadap aktifitas fotokatalis TiO₂

Dengan adanya pencahayaan ultra violet ($\lambda < 405 \text{ nm}$) pada permukaan TiO₂ maka TiO₂ akan mempunyai kemampuan menginisiasi reaksi kimiawi. Kebanyakan senyawa organik, dalam media air dapat dioksidasi oleh TiO₂ menjadi karbon dioksida dan air, sehingga proses fotokatalisis oleh TiO₂ dapat membersihkan air dari pencemar organik, sedangkan senyawa-senyawa anorganik seperti sianida dan nitrit yang beracun dapat diubah menjadi senyawa lain yang relatif tidak beracun.

Penyinaran permukaan TiO₂ yang bersifat semikonduktor akan menghasilkan pasangan elektron dan *hole* positif. *Hole* positif pada permukaan TiO₂ tersebut merupakan spesi oksidator kuat karena akan mengoksidasi spesi kimia lainnya yang mempunyai potensial redoks lebih kecil, termasuk dalam hal ini molekul air dan gugus hidroksil yang akan menghasilkan radikal hidroksil yang

mampu mengoksidasi senyawa organik dalam larutan.

Mekanisme fotokatalisis semi-konduktor TiO₂ dengan adanya sinar UV dapat dijelaskan sebagai berikut. Apabila TiO₂ dikenai cahaya dengan energi foton ($h\nu$) yang sama atau lebih besar daripada energi celah pita maka sebuah elektron akan dipromosikan dari pita valensi ke pita konduksi yang akan mengakibatkan lubang (*hole*) pada pita valensi, hal ini mengakibatkan pita valensi akan memiliki muatan positif (h^+) dan pita konduksi akan bermuatan negatif karena mendapatkan tambahan elektron (e^-). Reaksinya menurut El-amin (2007) adalah sebagai berikut :



Lubang positif pada pita valensi h_{vb}^+ dan elektron pada pita konduksi e_{cb}^- dapat berekombinasi. Jika h_{vb}^+ bereaksi

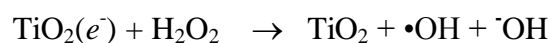
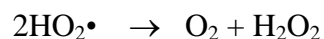
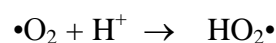
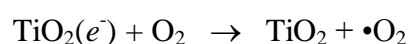
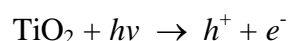
dengan suatu donor elektron maka akan terjadi reaksi oksidasi, sedangkan apabila e_{cb}^- bereaksi dengan suatu akseptor elektron maka akan terjadi reaksi reduksi. Selanjutnya *hole* (h_{vb}^+) akan bereaksi dengan hidroksida logam yaitu TiO_2 membentuk radikal hidroksida logam, radikal hidroksida logam ini merupakan oksidator kuat yang akan mengoksidasi sianida. Elektron yang berada pada permukaan semikonduktor akan terjebak dalam hidroksida logam dan akan bereaksi dengan penangkap elektron yang ada dalam larutan, misalnya H_2O atau O_2 , membentuk radikal hidroksil ($\cdot OH$) maupun superoksida ($\cdot O_2$) yang akan mengoksidasi sianida dalam larutan. Radikal-radikal ini akan terus-menerus terbentuk selama TiO_2 disinari dengan sinar UV dan akan menyerang sianida sehingga sianida tersebut akan terdegradasi.

Kadar sianida dianalisis pada waktu 0, 1, 2, 4, 6, 8 dan 10 jam setelah penyinaran menggunakan lampu UV dengan katalis TiO_2 lapis tipis. Konsentrasi sianida pada limbah cair industri tapioka yang digunakan sebesar 4,29 mg/L. Hasil dari pengaruh lampu UV sebagai sumber sinar terhadap aktifitas fotokatalis TiO_2 dalam mendegradasi sianida dalam limbah cair tapioka dapat dilihat pada Gambar 1.

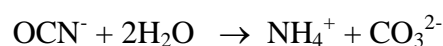
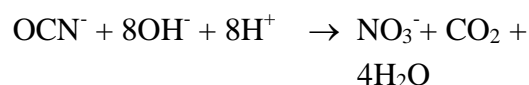
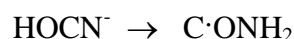
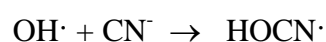
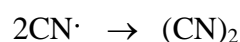
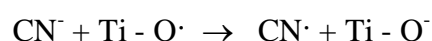
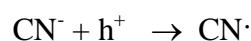
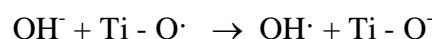
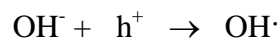
Berdasarkan Gambar 1 terlihat bahwa persentase penurunan kadar sianida dalam limbah cair tapioka paling besar terjadi pada waktu penyinaran 10 jam dengan persentase penurunan sebesar 93,79 %, konsentrasi sianida setelah 10 jam penyinaran adalah 0,27 mg/L. Hal tersebut menunjukkan bahwa persentase penurunan kadar sianida sebanding dengan waktu penyinaran yang berarti semakin lama waktu penyinaran, semakin banyak energi foton ($h\nu$) yang diserap TiO_2 sehingga semakin banyak elektron pada pita valensi yang tereksitasi pada pita konduksi. Kondisi ini menyebabkan h^+ atau lubang positif yang terbentuk juga

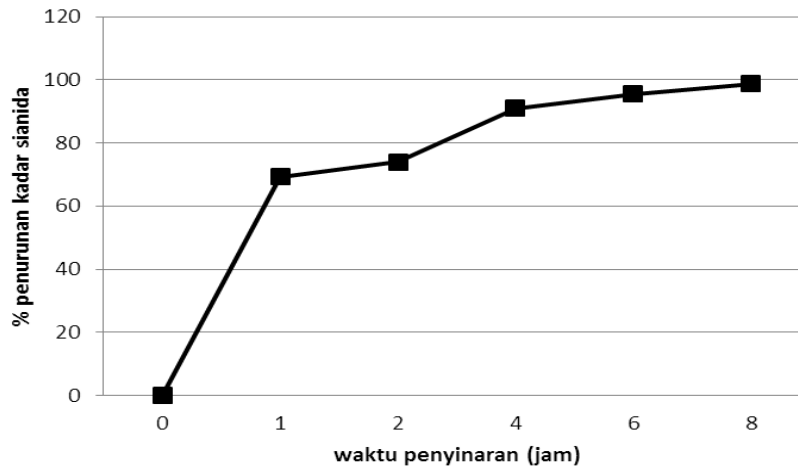
semakin banyak. Lubang positif tersebut akan bereaksi dengan H_2O atau ion hidroksil membentuk radikal $\cdot OH$ yang kemudian digunakan untuk menguraikan senyawa organik termasuk sianida dalam limbah cair tapioka (Hoffman, 1995).

Mekanisme reaksi fotokatalitik TiO_2 dalam pembentukan radikal hidroksil secara umum dapat dijelaskan pada persamaan reaksi berikut (Fujishima, 1999) :



Menurut Pollema (1992), sianida akan teroksidasi menjadi sianat kemudian menjadi nitrat dengan mekanisme reaksi sebagai berikut (Kim, 2003) :





Gambar 2. Pengaruh Waktu Penyinaran Sinar Matahari sebagai Sumber Sinar terhadap Aktifitas Fotodegradasi Sianida.

Tabel 2. Pengaruh Waktu Penyinaran Sinar Matahari sebagai Sumber Sinar terhadap Aktifitas Fotodegradasi Sianida.

Waktu (jam)	0	1	2	4	6	8
Penurunan Kadar Sianida (%)	0	69,23	79,99	90,91	95,46	98,74

Pengaruh Sinar Matahari Untuk Fotodegradasi Sianida Pada pH Optimum.

Salah satu faktor yang mempengaruhi aktivitas fotokatalis TiO_2 adalah penggunaan sumber sinar. Kadar sianida sebelum dan sesudah penambahan lapis tipis TiO_2 dengan penyinaran menggunakan sinar matahari selama 8 jam dianalisis. Hasil dari pengaruh penggunaan sinar matahari terhadap aktifitas fotokatalis TiO_2 dalam menurunkan kadar sianida dalam limbah cair tapioka dapat dilihat pada Gambar 2.

Sinar matahari dapat digunakan sebagai sumber sinar UV untuk fotodegradasi sianida pada limbah cair tapioka, hal ini dikarenakan sinar matahari mengandung sinar UV kurang lebih 5%. Besarnya penurunan kadar sianida pada kondisi penyinaran dengan sinar matahari selama 8 jam adalah 98,75 %, sedangkan besarnya penurunan kadar sianida pada kondisi penyinaran dengan lampu UV

selama 8 jam adalah 90,67 %. Hal ini menunjukkan bahwa aktifitas fotodegradasi sianida lebih baik bila menggunakan sinar matahari dibanding menggunakan sumber sinar lampu UV. Hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan sinar matahari untuk proses fotodegradasi sianida pada limbah tapioka lebih baik bila dibandingkan pada penggunaan lampu UV, sehingga proses pengolahan limbah menjadi lebih efisien bila menggunakan sinar matahari karena tidak membutuhkan lampu UV dan sumber listrik lagi.

Pada limbah cair tapioka selain terdapat sianida juga terdapat senyawa organik lain seperti karbohidrat, protein, lemak serta senyawa anorganik. Adanya senyawa organik kompleks dan senyawa anorganik dalam limbah cair tapioka dan adanya sinar tampak selain sinar UV yang terdapat pada sinar matahari maka dimungkinkan mekanisme fotodegradasi sianida pada limbah cair tapioka

menggunakan mekanisme sinar tampak dengan bantuan sensitizer senyawa organik kompleks dan senyawa anorganik dan mekanisme menggunakan sinar UV, hal ini mengakibatkan aktifitas fotokatalis pada penggunaan sinar matahari lebih tinggi bila dibandingkan pada penggunaan sinar yang berasal dari lampu UV.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Fotokatalis TiO_2 dapat menurunkan kadar sianida dalam limbah cair tapioka
2. Sinar matahari lebih baik bila digunakan sebagai sumber sinar untuk fotodegradasi sianida pada limbah cair tapioka. Besarnya persentase penurunan kadar sianida dengan menggunakan sumber sinar matahari selama 8 jam adalah 98,7386 %, sedangkan persentase penurunan kadar sianida dengan menggunakan sumber sinar lampu UV selama 8 jam adalah 90,67 %.

SARAN

1. Perlu diteliti penggunaan reaktor alir agar proses pengolahan limbah menjadi lebih efisien.
2. Perlu dikembangkan fotokatalis yang lebih aktif terhadap sinar tampak yang banyak terdapat pada sinar matahari sehingga proses fotodegradasi limbah organik lebih efisien.

DAFTAR PUSTAKA

Anpo, M., (2000), Utilization of TiO_2 photocatalysts in green chemistry, *Pure Appl. Chem.*, 72, 1265-1270.

Dabrowski, B., Jan Hupka, Monica, Z., Jan D. Miller, 2005, *Laboratory and Pilot Scale Photodegradation of*

Cyanide-Containing Wastewaters, Journal of Physicochemical Problems of Mineral Processing, 39 (2005), 229-248

El-Amin, A.A., Rashed, M.N., 2007., Photocatalytic Degradation of Methyl Orange in Aqueous Under Different Solar Irradiation Sources, *Journal of Physical Sciences*, Vol 2 (3), p 073-081

Fujishima., Akira., Kazuhito Hashimoto., Toshiya Watanabe., 1999., *TiO₂ Photocatalysis: Fundamentals and Applications.*, Bkc, Inc., Tokyo

Gunlazuardi, J., 2001., *Fotokatalisis Pada Permukaan TiO₂ : Aspek fundamental dan aplikasinya.* Seminar Nasional Kimia Fisika II, Kimia, F MIPA, Universitas Indonesia

Hoffmann, M.R.; Martin, S.T.; Choi, W.; Bahnemann, D., 1995., Environmental Applications Of Semiconductor Photocatalysis, *Chem. Rev.*, 95, 69-96.

Kim, J.H., Ho-In Lee, 2003, Photocatalytic Oxidation of Aqueous Cyanide Using TiO_2 and Surface-Modified TiO_2 , *Journal of Photochemistry and Photobiology, A : Chemistry*, 66, 367-374.

Linsebigler, A.L., Lu, G., Yates, J.T., 1995., Photocatalysis on TiO_2 Surface: Principles, Mechanism, and Selected Result., *Chem. Rev.*, 735-758

Nio, Kam Oey, 1989, *Zat-zat Toksik yang Secara Alamiah Ada pada Bahan Makanan Nabati* Cermin Dunia Kedokteran No.58, 24-28

Pollema, C. H., Hendrix, J. L., Milosavljevic, E. B., Solujic, L., Nelson, J. H., 1992, Heterogeneous Photocatalytic Oxidation of Cyanide to Nitrat at Titania Particle, *Journal of Photochemistry*

- and Photobiology*, A : Chemistry, 66, 235-244.
- Peral, J., Munoz, J., Domenech, X., 1990, Photosensitized Cyanide Oxidation Over Titanium dioxide, *Journal of Photochemistry and Photobiology*, A : Chemistry, 55, 251-257.
- Riyani, Kapti dan Tien Setyaningtyas., 2010., Penurunan Kadar Sianida Dalam Limbah Cair Tapioka Menggunakan Fotokatalis TiO₂, *Molekul*, 5 / 1 / 50-55
- Suprpti, Lies., 2005., Tepung Tapioka, Penerbit Kanisius, Yogyakarta, ISBN 979-21-0854-8
- Setiadji, B., Tranggono, Suparno, Sardjono, dan Ibnu Ghalib G, 1990, *Kajian Kimiawi Pangan II*, Cetakan Pertama, Tiara Wacana PUA Pangan dan Gizi UGM, Yogyakarta, Hal 273-283.
- Slamet, S. Bismo, Rita A., dan Zulaina, S., 2006, Penyisihan Fenol dengan Kombinasi Proses Absorpsi dan Fotokatalisis Menggunakan Karbon Aktif dan TiO₂, *Jurnal Teknologi*, Fakultas Teknik, Depok, UI. Slamet, Meta, E., Dan S. Bismo, 2008, Modifikasi Zeolit Alam Lampung dengan Fotokatalis TiO₂ Melalui Metode Sol Gel dan Aplikasinya untuk Penyisihan Fenol, *Jurnal Teknologi*, Fakultas Teknik, Depok, UI.
- Sonawane, R.S., dan M.K. Dongare., 2006, Sol-gel Synthesis of Au/TiO₂ Thin Films for Photocatalytic Degradation of Phenol in Sunlight, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 243, 68-76
- Sopyan, I., 1998., Fotokatalitik Semikonduktor-Dasar Teori dan Penerapan., *Majalah BPPT*, No LXXXVII
- Wahyuadhy, S., 1996, *Teknologi Pengendalian Dampak Lingkungan Industri Penyamakan Kulit* (on-line), Disampaikan dalam Raker Pengendalian Pencemaran Air Akibat Limbah Usaha Kecil, [Http://www.menlh.go.id/usaha-kecil/](http://www.menlh.go.id/usaha-kecil/). Diakses tanggal 4 Maret 2011.
- Wahyudhy, U., 2006, *Keracunan Sianida* (on-line). <http://klikharry.wordpress.com/2006/12/14/keracunan-sianida/>, Diakses tanggal 4 Maret 2011.
- Winarno, F.G., 1995, *Kimia Pangan dan Gizi*, PT, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, Hal 228-230.
- Yan-fen FANG, HUANG Ying-ping, LIU De-fu, HUANG yang, GUO Wei, DAVID Johnson., 2007, Photocatalytic degradation of the dye sulforhodamine-B: A comparative study of different light sources., *Journal of Environmental Sciences*, 19, 97-102