

PENURUNAN KONSENTRASI p-KLOROFENOL DENGAN FOTOKATALIS TiO₂ DAN ION Fe (III)

Ana Hidayati Mukaromah¹, Endang Tri Wahyuni², Dwi Siswanta³

¹Fakultas Ilmu Keperawatan dan Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Semarang
email: anahidamuka@gmail.com

²Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan, Universitas Gadjah Mada
email: endangtw@ugm.ac.id

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan, Universitas Gadjah Mada
email: dwisiswanta@ugm.ac.id

Abstract

A decrease in the concentration of p-chlorophenol with photocatalyst TiO₂ and Fe (III) has been studied. The process of decreasing the concentration of p-chlorophenol was carried out in a closed reactor equipped with UV lamp C-type 40 Watt in a batch system. The suspension of p-chlorophenol, TiO₂ powder, FeCl₃ solution was saturated with oxygen then exposed by the UV light, stirred for a period of time, and the concentration of p-chlorophenol undegradated was determined by gas chromatography (GC). The decrease in p-chlorophenol concentration was calculated by subtracting the initial by residual p-chlorophenol concentration. The compounds produced from the p-chlorophenol concentration decrease have been identified by HPLC. The research results showed that the highest effectiveness of photodegradation of p-chlorophenol catalyzed by TiO₂ in the presence of Fe (III) ion was 93.90% and the condition giving maximum effectiveness was 300 mg/L of the initial of concentration of p-chlorophenol, 600 mg/L of the concentration of Fe(III) ion, the pH of solution 6-8, and the time contact 25 hours. During the decrease p-chlorophenol concentration process, TiO₂ cristallinity was partially destroyed as much as 14.13%, and p-chlorophenol was oxidized into hydroquinon and the three other compounds that have not been identified yet.

Keywords: photocatalyst, TiO₂p-chlorophenol, and Fe(III) ion.

PENDAHULUAN

Perkembangan industri di Indonesi dewasa ini membawa keuntungan dan kesejahteraan umat manusia, juga membawa dampak negatif bagi lingkungan seperti limbah industri. Limbah industri dapat dapat berupa limbah cair seperti senyawa fenol dan turunannya. Kehadiran senyawa fenol maupun fenol terklorinasi seperti senyawa p-klorofenol di perairan dapat berbahaya bagi lingkungan. Hal ini karena s senyawa fenol maupun fenol terklorinasi merupakan polutan yang mempunyai toksisitas tinggi dan bersifat karsinogen (pemicu kanker). Menurut Surat Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 42/MENLH/10/1996 bahwa batas ambang

kandungan fenol total di dalam limbah cair adalah 2,0 mg/L. Rendahnya batas ambang konsentrasi senyawa p-klorofenol dalam perairan mendorong berbagai penelitian untuk menurunkan konsentrasi p-klorofenol atau menghilangkannya dari air limbah.

Penurunan konsentrasi p-klorofenol secara kimia dapat dilakukan antara lain dengan cara fotodegradasi. Pada dasarnya senyawa p-klorofenol dapat mengalami degradasi secara alamiah oleh cahaya matahari yang disebut fotodegradasi, namun berlangsung sangat lambat. Hal ini mengakibatkan akumulasi yang lebih cepat daripada degradasinya, sehingga konsentrasi p-klorofenol terus meningkat sampai tingkat yang berbahaya. Peningkatan

efektivitas fotodegradasi p-klorofenol dapat dilakukan dengan fotokatalis TiO₂. Kemampuan fotokatalis TiO₂ berasal dari energi band gap (Eg) yang cukup tinggi yaitu 3,0 eV untuk jenis *rutile* dan 3,2 eV untuk jenis *anatase*. >TiO₂ mewakili permukaan fotokatalis, hv⁺ dan ecb⁻ masing-masing adalah hole dan electron yang merupakan spesies fotoaktif, OH(s) merupakan gugus hidroksil pada permukaan katalis, hv merupakan energi radiasi yang berasal dari lampu UV/ visible atau cahaya matahari yang diserap oleh terbentuk pada permukaan katalis OH(s) dan OH(I) masing-masing adalah radikal OH yang terbentuk pada permukaan katalis dan dalam larutan (Fujishima, 1999).

TiO₂ dapat dipergunakan antara lain sebagai pigmen dalam industri cat, pemutihan pada industri kosmetik, dan fotokatalis. TiO₂ dapat berfungsi sebagai fotokatalis yaitu mempercepat reaksi yang diindikasikan oleh cahaya karena mempunyai struktur semikonduktor yaitu struktur elektronik yang dikarakterisasi oleh adanya pita valensi (valence band; vb) terisi dan pita konduksi (conduction band ; cb) yang kosong. Kedua pita tersebut dipisahkan oleh energi celah pita (band gap energy ; Eg). Eg TiO₂ jenis *anatase* sebesar 3.2 eV dan jenis *rutile* sebesar 3.0 eV, sehingga jenis *anatase* lebih foto reaktif dari pada jenis *rutile* (Hoffmann, 1997; Fujishima, 1999). Selain adanya fotokatalis TiO₂, fotodegradasi dapat ditingkatkan dengan adanya pemeka (*sensitizer*) berupa ion seperti ion Fe (III). Suatu perairan sering menerima pembuangan air limbah yang tidak hanya mengandung senyawa p-klorofenol, tetapi juga mengandung TiO₂ dan berbagai jenis ion logam seperti ion Fe (III), yang berasal dari industri cat, kosmetik, dan pelapisan logam. Dalam perairan tersebut, jika ada sinar matahari yang cukup dan pH yang sesuai, maka dapat terjadi degradasi p-klorofenol yang efektivitasnya dapat dipengaruhi oleh ion Fe (III). Oleh karena itu perlu dilakukan penurunan konsentrasi senyawa p-klorofenol dengan fotokatalis TiO₂ dan ion Fe (III) dalam skala laboratorium.

Dominguez dkk. (1998) telah melakukan oksidasi fotokatalitik oleh TiO₂ dengan adanya FeCl₃ untuk mendegradasi polutan organik

dalam air seperti dodesilbensulfonat (DBS), azynphos methyl dan dimethoate. Hasil penelitian bahwa selama 20 menit, azynphos methyl dapat terdegradasi 100% dengan fotokatalis TiO₂, dengan FeCl₃ terdegradasi 85%, dan bila dengan fotokatalis TiO₂ dan FeCl₃ terdegradasi 100% selama 2 menit.

Brezova et al. (1995) dan Shulphin et al. (1997) juga telah mempelajari pengaruh ion-ion terlarut seperti Ca²⁺, Mg²⁺, Ni²⁺, Zn²⁺, Mn²⁺, Co²⁺, Cu²⁺, Cr³⁺, dan Fe³⁺ terhadap efektivitas fotodegradasi fenol terkatalis TiO₂. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa Ca²⁺, Mg²⁺, Ni²⁺ tidak mempunyai pengaruh terhadap laju degradasi fenol, sedangkan Mn²⁺, Co²⁺, Cu²⁺ menghambat fotodegradasi fenol, Cr³⁺ dapat menghentikan degradasi fotokatalitik fenol, dan Fe³⁺ dapat meningkatkan degradasi fotokatalitik fenol.

Dari berbagai hasil penelitian yang telah dikemukakan tersebut, dapat diketahui bahwa ion Fe (III) adalah satu-satunya ion yang dapat meningkatkan fotodegradasi fenol terkatalis TiO₂. Hal ini karena Fe (III) pada pH >4 berada sebagai Fe(OH)²⁺, Fe(OH)₂⁺, atau Fe(OH)₃ setelah menyerap energi foton (hv) dapat menghasilkan radikal .OH yang merupakan oksidator kuat (Brezova et al., 1995).

Tujuan penelitian ini adalah menentukan konsentrasi ion Fe (III) dan pH larutan yang optimum terhadap penurunan konsentrasi senyawa p-klorofenol, dan menentukan penurunan konsentrasi p-klorofenol tanpa fotokatalis TiO₂, dengan fotokatalis TiO₂, dengan adanya ion Fe (III) dan pH optimum. Konsentrasi klorofenol ditentukan dengan alat kromatografi gas. Kristalinitas TiO₂ dengan XRD, dan senyawa hasil fotodegradasi ditentukan dengan metode HPLC

1. KAJIAN LITERATUR

Senyawa p-klorofenol atau 4-klorofenol merupakan fenol yang tersubstitusi oleh klor pada posisi para yang mempunyai rumus molekul C₆H₄OHCl. Pembakaran terhadap senyawa p-klorofenol akan menghasilkan HCl dan Cl₂ yang bersifat racun dan korosif. Senyawa para-klorofenol sangat berbahaya bagi manusia, antara lain jika terhirup dapat mengganggu pernapasan, kontak dengan mata

dapat menyebabkan iritasi, jika kontak dengan kulit dapat menyebabkan kulit melepuh dan sangat beracun jika tertelan.

Senyawa p-klorofenol dalam suasana asam lebih mudah melepaskan ion klorida dari pada suasana basa, sehingga pada suasana asam p-klorofenol lebih mudah menjadi senyawa fotoaktif dan mudah terdegradasi menjadi senyawa lain yang lebih sederhana. Senyawa p-klorofenol dapat mengalami reaksi fotooksidasi menjadi hidrokuinon, pbenzokuinon, p-klorokatekol dan asam-asam karboksilat, dan jika fotodegradasi berlangsung secara sempurna maka akan menghasilkan CO₂, HCl, dan H₂O (Hoffman et., 1997; Alemany et al., 1997; dan Burrows et al., 1998).

Usaha penanganan p-klorofenol dalam skala laboratorium telah banyak dilakukan, antara lain dengan cara fisika, biologi dan kimia. Secara fisika antara lain dengan cara adsorpsi menggunakan karbon aktif (Hu et al., 2000) dan zeolit alam. Metode adsorpsi dengan adsorben karbon aktif merupakan metode yang relatif sederhana dan efektif, namun memerlukan biaya mahal. Selain itu, jika adsorben tersebut telah jenuh dengan p-klorofenol, maka bahan ini akan menjadi limbah padat.

Penanganan fenol secara biologi dilakukan dengan menggunakan berbagai jenis mikroorganisme. Penggunaan mikroorganisme *Clostridium* sp, *Methanospirillum hungatii*, dan *Methanosarcina* bakteri, yang bekerja pada kondisi anaerob dapat mendegradasi 2,2-diklorofenol menjadi gas metana dan gas karbon dioksida. Selain itu biodegradasi dengan mikroorganisme *Atrobacter* sp. dan *Pseudomonas* sp. pada kondisi aerob dapat mendegradasi p-klprofenol menjadi CO₂ dan H₂O (Sulfito dan Miller dalam Chauldry. 1994).

Degradasi korofenol secara kimia dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya adalah metode fotodegradasi secara alamiah yaitu proses peruraian dengan menggunakan energi foton yang dapat berasal dari matahari maupun lampu UV. Proses fotodegradasi secara alamiah (dengan cahaya matahari) biasanya berlangsung lambat, sehingga telah dikembangkan berbagai macam fotokatalis untuk mempercepat proses fotodegradasi

tersebut, antara lain Fe₂O₃, ZnO, CdS dan TiO₂. Penggunaan TiO₂ untuk mempercepat reaksi fotodegradasi fenol telah dilaporkan oleh Hoffmann et al. (1997). Metode kimia yang telah dilaporkan adalah fotodegradasi terkatalisis oleh TiO₂ (Piero, et el, 2001). Penggunaan fotokatalis tersebut telah dilaporkan dapat meningkatkan efektivitas reaksi fotodegradasi secara signifikan.

Sebagai fotokatalis, spesies aktif dari TiO₂ dalam larutan adalah >TiOH dan stabil pada pH 4,5 sampai dengan pH 8 (Hoffmann et al., 1997). TiO₂ dapat dipergunakan antara lain sebagai pigmen dalam industri cat, pemutihan pada industri kosmetik, dan fotokatalis.

TiO₂ dapat berfungsi sebagai fotokatalis yaitu mempercepat reaksi yang diindikasikan oleh cahaya karena mempunyai struktur semikonduktor yaitu struktur elektronik yang dikarakterisasi oleh adanya pita valensi (valence band; vb) terisi dan pita konduksi (conduction band ; cb) yang kosong. Kedua pita tersebut dipisahkan oleh energi celah pita (band gap energy ; Eg). Eg TiO₂ jenis anatase sebesar 3.2 eV dan jenis rutil sebesar 3.0 eV, sehingga jenis anatase lebih fotoreaktif dari pada jenis rutil (Hoffmann et al., 1995; Fujishima et al., 1999).

Fotokatalis yang berupa oksida logam mampu menyerap radiasi antara fotokatalis dengan air. Radikal OH ini merupakan oksidator yang kuat sehingga dapat menguraikan p-klorofenol secara cepat. Pembentukan radikal OH :

$h\nu^+$ dengan OH(s) menjadi $\bullet\text{OH}(s)$ dan ecb- dengan H₂O(l) menjadi $\bullet\text{OH}(l)$. >TiO₂ mewakili permukaan fotokatalis, $h\nu^+$ dan ecb- masing-masing adalah hole dan elektron yang merupakan spesies fotoaktif, OH(s) merupakan gugus hidroksil pada permukaan katalis, $h\nu$ merupakan energi radiasi yang berasal dari lampu UV/visible atau cahaya matahari diserap oleh permukaan katalis membentuk $\bullet\text{OH}(s)$ dan $\bullet\text{OH}(l)$ yang masing-masing merupakan radikal OH yang terbentuk pada permukaan katalis dan dalam larutan. Apabila reaksi fotodegradasi p-klorofenol berlangsung sempurna maka akan menghasilkan gas O₂, H₂O dan Cl₂ yang berasal dari fenol terklorinasi. Namun jika reaksi oksidasi p-klorofenol belum sempurna akan

menghasilkan beberapa senyawa seperti hidrokuinon, asam acetat, asam format, dan sebagainya (Alemany, et al, 1997) yang tidak berbahaya. Dalam waktu yang sama spesies aktif $h\nu^+$ dan ecb^- dapat mengalami rekombinasi atau penggabungan kembali sehingga dapat menurunkan jumlah radikal OH yang terbentuk. Reaksi rekombinasi ini dapat dicegah dengan menggunakan zat penangkap electron seperti gas oksigen dan menghasilkan hidrogen peroksida yang dapat berperan sebagai oksidator yang cukup kuat, sehingga akan mempercepat reaksi fotodegradasi p-klorofenol. Pengaruh ion-ion logam seperti ion Fe(III) dengan adanya H_2O dan radiasi foton ($h\nu$) akan menghasilkan Fe^{2+} , $\bullet OH$, dan H^+ . Selanjutnya radikal $\bullet OH$ berfungsi sebagai oksidator kuat yang akan mengoksidasi p-klorofenol (Brezova et al., 1995 dan Hoffman et al., 1997). Spesies aktif dari Fe(III) dalam pelarut air ada Fe(OH) pada pH 6,7 sampai dengan 10,4. Fotodegradasi p-klorofenol dengan adanya ion-ion logam berat terlarut juga dapat berlangsung. Pengaruh adanya logam-logam berat seperti Fe(III), Cr(III), Cu(II), dan sebagainya terhadap fotodegradasi fenol telah dipelajari oleh Brezova, et al, (1995); Shul'pin, et al. (1997) yaitu pengaruh ion-ion logam terlarut seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{3+} , dan Fe^{3+} terhadap efektifitas fotodegradasi p-klorofenol terkatalis TiO_2 . Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan Co^{2+} , dan Cu^{2+} menghambat fotodegradasi fenol, Cr^{3+} dapat menghentikan degradasi fotokatalitik fenol, sementara itu Fe^{2+} dapat meningkatkan degradasi fenol.

2. METODE PENELITIAN

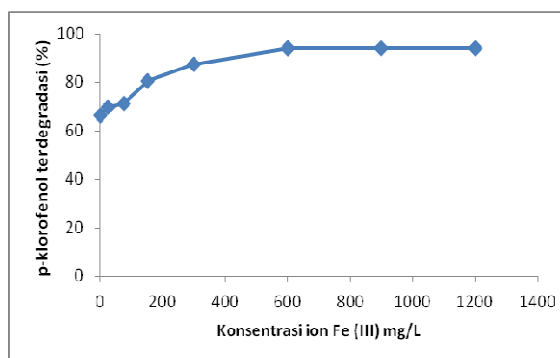
Bahan yang digunakan Garam $FeCl_3$, p-klorofenol serbuk, HCl-PA, dan NaOH PA. Alat yang digunakan adalah satu unit reaktor/tempat reaksi fotokatalitik yang dilengkapi dengan lampu UV, kromatografi gas Shimadzu, mendegradasi fenol, namun kemampuan besi sebagai ion Fe(III) dalam HPLC Perkin-Elmer.

Prosedur penelitian: Dimasukkan 25,0 mL p-klorofenol 300 mg/L ke dalam erlenmeyer, kemudian ditambahkan dengan 20 mg TiO_2 dan $FeCl_3$ 600 mg/L dan dialiri gas oksigen sampai jenuh. Suspensi yang diperoleh selanjutnya

dimasukkan dalam reaktor dan disinari lampu UV sambil diaduk dengan pengaduk magnetik selama waktu 30 menit. Larutan dipisahkan dari padatnya dengan cara disaring dengan kertas saring Whatman 42. Filtrat yang diperoleh ditambah dengan akuades sampai volume 25,0 mL. Selanjutnya diukur konsentrasi p-klorofenol yang tersisa dengan metoda kromatografi gas. Penurunan konsentrasi p-klorofenol yang tersisa diukur dengan membandingkan selisih konsentrasi p-klorofenol awal dan akhir dengan konsentrasi p-klorofenol awal. Ulangi prosedur tersebut dengan waktu penyinaran 60, 90, dan 120 menit, 5, 10, 15, 20, dan 25 jam. Ulangi untuk konsentrasi Fe (III) 300, 900, dan 1200 ppm dan pH 2, 4, 6, 8, 10, dan 12.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

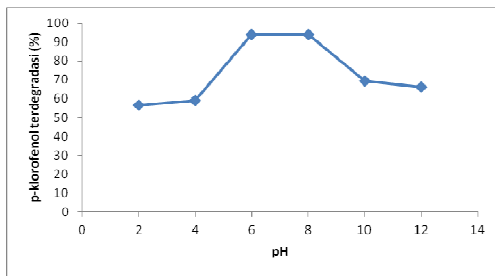
Fotodegradasi p-klorofenol terkatalis TiO_2 dipengaruhi oleh konsentrasi ion Fe (III) dan pH tertera pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Pengaruh Konsentrasi ion Fe (III) terhadap efektifitas fotodegradasi p-klorofenol terkatalis TiO_2 pada pH 8

Gambar 1 menunjukkan bahwa pada kenaikan konsentrasi ion Fe(III) dari 25 sampai dengan 600 mg/L terjadi kenaikan persen p-klorofenol terdegradasi yang cukup tajam, namun kenaikan konsentrasi Fe(III) dari 600 sampai dengan 1200 mg/L kenaikan persen p-klorofenol terdegradasi relatif kecil. Hal ini disebabkan karena peran Fe (III) pada pH 8 sebagai $Fe(OH)_3$ adalah menyediakan radikal OH. Dengan bertambahnya konsentrasi ion Fe (III) maka $Fe(OH)_3$ yang terbentuk juga

semakin besar sehingga jumlah radikal yang terbentuk juga semakin banyak, sehingga reaksi p-klorofenol terdegradasi semakin efektif. Jika konsentrasi ion Fe (III) lebih tinggi lagi maka $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang terbentuk semakin banyak, maka dapat menutupi permukaan TiO_2 dan menghalangi pembentukan radikal OH, sehingga p-klorofenol terdegradasi kurang efektif.

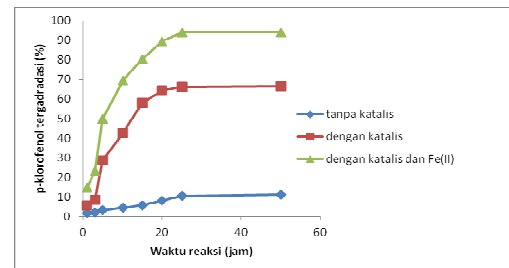


Gambar 2. Pengaruh pH larutan terhadap efektivitas fotodegradasi p-klorofenol (300 mg/L) terkatalisis TiO_2 dan ion Fe (III)

Gambar 2 menunjukkan bahwa kenaikan pH 2 sampai 6, terjadi kenaikan fotodegradasi p-klorofenol, pada pH 6 sampai 8, fotodegradasi p-klorofenol relatif tetap, dan kenaikan pH dari 8 sampai 12 terjadi penurunan p-klorofenol yang terdegradasi. Jika ditinjau dari spesiasi p-klorofenol, pada pH asam p-klorofenol lebih mudah melepas ion klorida, sehingga lebih mudah terdegradasi, namun data menunjukkan hal yang sebaliknya. Oleh karena itu perlu ditinjau dari spesiasi TiO_2 dan Fe (III).

Spesies TiO_2 lebih mudah membentuk radikal .OH jika berbentuk $>\text{TiOH}$ pada pH 4,5 sampai 8 (Hoffmann et al, 1995). Pada pH < 4,5 TiO_2 berada sebagai TiOH_2 dan pada pH > 8 berada pada TiO^- sehingga sulit membentuk radikal OH, sehingga seharusnya efektivitas fotodegradasi p-klorofenol tertinggi pada pH 4,5 sampai dengan 8. Pada Gambar 2, fotodegradasi p-klorofenol pada pH 4,5 sampai 6 relatif lebih rendah dan hasil tertinggi diperoleh pada pH 6 sampai 8. Oleh karena itu perlu dilihat spesies ion Fe (III) pada pH larutan.

Pada kenaikan pH 2 sampai dengan 4, ion Fe (III) berada sebagai Fe^{3+} , sehingga jumlah radikal OH kecil, sedangkan pada kenaikan pH dari 4 sampai dengan 6, ion Fe (III) berada dalam campuran $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$, $\text{Fe}(\text{OH})_2^{4+}$, dan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dengan jumlah $\text{Fe}(\text{OH})_3$ semakin banyak berarti jumlah radikal OH juga semakin banyak. Pada pH 6 sampai dengan 8, jumlah $\text{Fe}(\text{OH})_3$ paling dominan sehingga jumlah radikal OH paling maksimal, sedangkan pada pH > 8, ion $\text{Fe}(\text{OH})_3$ berada sebagai anion $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$ sehingga sulit membentuk radikal OH dan efektivitas fotodegradasi p-klorofenol menurun. Dengan demikian, jumlah radikal OH tertinggi pada pH 6 sampai dengan 8, berasal dari TiO_2 dan ion Fe (III), sehingga efektivitas fotodegradasi p-klorofenol diperoleh pada pH 6 sampai dengan 8. Selanjutnya dilakukan P-Klorofenol terdegradasi tanpa katalis, dengan katalis, dan dengan katalis dan Ion Fe (III) dan tertera pada Gambar 3.



Gambar 3. P-Klorofenol terdegradasi tanpa katalis, dengan katalis, dan dengan katalis dan Ion Fe (III).

Gambar 3 menunjukkan bahwa tanpa fotokatalis TiO_2 , fotodegradasi p-Klorofenol dapat berlangsung namun hasilnya sangat rendah, sedangkan dengan penambahan TiO_2 dan ion Fe (III), efektivitas fotodegradasi p-klorofenol meningkat lebih tinggi lagi. Pada penyinaran 1 -25 jam, interaksi antara cahaya dengan p-klorofenol, TiO_2 , dan Fe (III) semakin besar sehingga jumlah p-klorofenol yang menjadi senyawa fotoaktif dan radikal OH yang terbentuk semakin banyak. Interaksi radikal OH dengan p-klorofenol juga semakin lama sehingga penurunan konsentrasi p-klorofenol semakin besar. Akan tetapi waktu reaksi yang semakin lama, maka produk hasil fotodegradasi

yang terbentuk dapat menghalangi interaksi antara cahaya dengan reaktan, cahaya dengan fotokatalisis, dan fotokatalisis dengan reaktan. Efek proses fotokatalisis terhadap kristalinitas TiO₂ tertera pada Tabel 1.

Puncak	2Ø	d (Å)	Intensitas	
			Sebelum	Sesudah
1	22,88	3,89	1034	855
2	25,35	3,51	4978	4160
3	37,85	2,38	998	898
4	48,1	1,89	1600	1364
5	59,35	1,7	827	778
6	55,95	1,66	933	797
7	62,75	1,48	729	670
Jumlah			11094	9522

Tabel 1 menunjukkan bahwa jumlah intensitas sebelum digunakan adalah 11094 dan jumlah intensitas sesudah digunakan adalah 9522. Bila kristalinitas sebelum digunakan dianggap 100%, maka kristalinitas TiO₂ sesudah digunakan 85,87 % dan berarti terjadi kerusakan kristal 14,13 %.

Penentuan senyawa hasil degradasi p-klorofenol terkatalisis TiO₂ dengan adanya Ion Fe (III) dengan HPLC dihasilkan senyawa hidrokuinon, dan 3 senyawa lain yang belum diketahui.

4. SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi p-klorofenol terfotokatalisis TiO₂ dan ion Fe(III) yang tertinggi adalah 93,90% dan diperoleh pada kondisi konsentrasi awal p-klorofenol 300 mg/L, konsentrasi ion Fe(III) 600 mg/L, pH larutan 6-8, dan lama penyinaran 25 jam dan selama proses fotodegradasi, kristalinitas TiO₂ mengalami kerusakan kristal sebesar 14,13%. Senyawa p-klorofenol terdegradasi menjadi hidrokuinon dan 3 senyawa lain yang belum ditentukan jenis senyawanya.

6. REFERENSI

- Alemany, L. J., Banares, M.A., Pardo, E., Martin, F, Galan-Fereres, M., and Blasco, J.M., Photodegradation of Phenol in Water Using Silica Supported Titania Catalyst, *J. Appl. Catal. B. Environ.*, 13, 289-297
- Anonim, 1996. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 42/MENLH/10/1996 tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan. Sekretariat Kementrian Negara KLH, Jakarta
- Brezova, V., Blazkova, A., Borozova, E., Cappan, M., and Fiala Radin, 1995. The Influence of Dissolved Metal Ion on The Degradation of Phenol in Aqueous TiO₂ Suspension., *J. Molec Catal A*, 98, 108 116
- Chauldhry, G. R. 1994. Biological degradation and Bioremediation of Toxic Chemicals. Champan and Hall, London, 74-158.
- Fujishima, AK., Hasimoto, K., Watanabe, T. 1999. TiO₂ Photocatalysis Fundamental and Application. Japan: Koyo pringting.
- Hoffman, M.R., Martin, S.T., Choi, W., and Bahneman, D.W. 1997. Environmental Application of Semiconductor Photocatalysis. *J. Chem. 1 Rev.*, 69 96.
- Shul'pin, G.B., Bochkova, M.M., Nizova, G.V., Kozlova , N.B., 1997. Aerobic Photodegradation of Phenols in Aqueous Solution promoted by Metal Compounds, *J. Appl. Catal, b. Environ.*, 12, 1 19