

EFEKTIVITAS KATALIS TiO_2 DENGAN PENGEMBAN $Mg(II)$, $Ca(II)$ DAN $Ba(II)$ KARBONAT PADA FOTODEGRADASI ZAT WARNA *TURQUOISE BLUE*
EFEKTIVITAS KATALIS TiO_2 DENGAN PENGEMBAN $Mg(II)$, $Ca(II)$ DAN $Ba(II)$ KARBONAT PADA FOTODEGRADASI ZAT WARNA *TURQUOISE BLUE*

Mudjijono¹⁾, Ashadi²⁾

Program Studi Pendidikan Sain Pasca Sarjana Universitas Sebelas Maret

- 1). Dosen jurusan Kimia FMIPA Universitas Sebelas Maret, email: mudjijono@uns.ac.id
- 2). Dosen Pendidikan Kimia jurusan PMIPA FKIP Universitas Sebelas Maret

INTISARI

Telah dilakukan penelitian tentang efektifitas katalis semikonduktor TiO_2 dengan pengemban garam tak larut Mg, Ca dan Ba-karbonat pada fotodegradasi zat warna *Turquoise Blue* dalam sistem mengalir (*flow system*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pengemban terhadap efektifitas kinerja katalis semikonduktor TiO_2 pada fotodegradasi zat warna dan membandingkan sistem mengalir (*flow system*) dan sistem kolam (*bath system*). Laju aliran yang antara 120 sampai dengan 150 ml per menit. Perubahan absorbansi zat warna diamati selama 4,5 jam dalam interval pengamatan 30 menit. Pengukuran absorbansi dilakukan pada panjang gelombang 344,50 nm. Efektifitas X terhadap laju reaksi berbeda secara signifikan dan masing-masing secara berurutan adalah Ca, Ba dan Mg-karbonat. Harga k order 1 berturut-turut 0,263; 0,122; 0,094 jam⁻¹ atau memberikan *lifetime* sebesar 3,80; 8,22 dan 10,50 jam. Dalam beberapa alasan dan hasil perbandingan harga k orde 1 yang diperoleh maka penggunaan *flow system* lebih unggul dalam perspektif teknik baik efektifitas maupun kesederhanaan teknik.

Kata kunci: Pengembanan TiO_2 , Fotodegradasi terkatalitik, sistem sistem kolam (*Bath system*) dan mengalir (*flow system*)

1. PENDAHULUAN

Pengolahan buangan zat warna secara efektif dapat dilakukan dengan degradasi senyawa menjadi molekul-molekul dasar yang tidak berbahaya. Misalnya zat warna dapat diuraikan menjadi CO_2 dan H_2O atau senyawa dasar lainnya. Beberapa percobaan terutama yang menggunakan fotokatalitik menjadikan reaksi fotodegradasi terkatalisis menggunakan TiO_2 telah dilakukan.

Pada tahun 1998 Mudjijono, dkk (1998), Endah Kamela (1998), Sukisman Purtadi (1999) yang termasuk dalam Mudjijono group melakukan penelitian didasarkan pada fotodegradasi zat warna dengan memakai katalis dan mencari penyebab efektifitas serta optimasinya. Hasil dari penelitian ini adalah bahwa fotodegradasi dapat dikatalisis oleh TiO_2 dimana efektifitasnya tidak dipengaruhi oleh gas oksigen dalam larutan tetapi dipengaruhi oleh adanya ion hidroksil. Zat warna yang telah dicoba meliputi *Turquoise Blue* dan *Red RB* di bawah penyinaran lampu halogen 1000 watt.

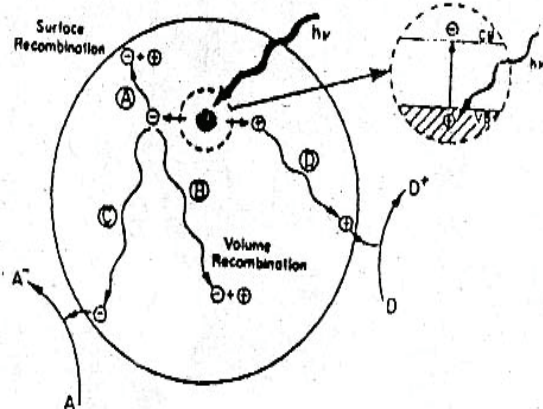
Di kelompok lain Aryadhita (2006) juga melakukan penelitian tentang penggunaan katalis semikonduktor TiO_2 dengan penguatan ion logam Cu^{2+} untuk fotodegradasi zat warna *Turquoise Blue*. Menggunakan lampu halogen 1000 Watt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan ion logam Cu^{2+} dapat meningkatkan efektifitas katalis semikonduktor TiO_2 dalam reaksi fotodegradasi zat warna *Turquoise Blue* yaitu mempercepat

penguraian zat warna. Semakin besar konsentrasi ion logam Cu^{2+} yang ditambahkan semakin cepat reaksi yang terjadi.

Seluruh penelitian di atas dilakukan dalam sistem kolam (*bath system*). Dimana hal ini dipersulit ketika mengambil atau memisahkan TiO_2 dari larutan substratnya. Oleh karena itu penggunaan secara teknis akan mengalami kesulitan. Namun melihat hasil penelitian yang telah dilakukan di atas dan informasi adanya penambahan zat anorganik seperti nitrat dan nitrit, serta ion-ion logam seperti: besi, mangan, perak, dan merkuri dapat meningkatkan efektifitas dari katalis semikonduktor (Linsebigler, A.L., et. al., 1995:743).

Penambahan bahan-bahan yang diperlukan sebagai bahan pengikat TiO_2 agar tidak terdispersi setingkat koloid, mudah didapat dan berpori, bahan tidak merupakan polutan bahaya adalah bahan berasal dari golongan IIA. Bahan-bahan ini dapat merupakan oksida atau garam dari $Mg(II)$, $Ca(II)$ dan $Ba(II)$. Reaksi-reaksi yang mungkin terjadi pada bahan-bahan tersebut dengan adanya TiO_2 maupun selama aktivasi dengan kalsinasi dapat bervariasi perlu diteliti efektifitasnya. Artikel ini hanya mencoba membandingkan penggunaan pengemban yang berasal dari bahan awal oksida $Mg(II)$, $Ca(II)$ dan $Ba(II)$ dengan perbandingan massa TiO_2 dan oksida pengemban 1:3, tanpa meneliti lebih lanjut reaksi yang terjadi selama proses pengembanan dan kalsinasi.

Daya katalitik dari semikonduktor adalah pembuatan elektron dan *hole* di dalam partikel semikonduktor ketika bahan tersebut dikenai cahaya (Gambar 1).



(Linsebigler, *et al*, 1995: 739).

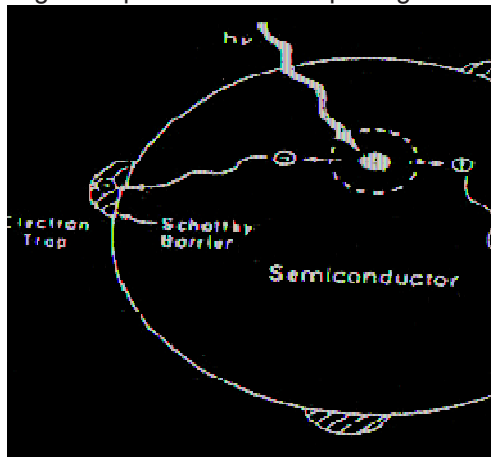
Gambar 1. Fotoeksitasi elektron pada semikonduktor

Ketika terjadi penyerapan foton dengan energi $h\nu$ yang besarnya sesuai atau melebihi perbedaan energi E_g dari semikonduktor, maka elektron (e^-) berpindah dari VB menuju CB, meninggalkan *hole* yang bermuatan positif di VB. Peristiwa eksitasi elektron ini kemudian diikuti oleh beberapa proses selanjutnya, yaitu: (1). Rekombinasi elektron dan *hole* di dalam semikonduktor (B) atau di permukaannya (A), yang masing-masing disertai dengan pembebasan energi panas, (2). Perangkap elektron dan *hole* dalam keadaan permukaan yang metastabil, (3). Reduksi suatu akseptor elektron oleh elektron (CB), (4). Oksidasi suatu donor elektron oleh *hole* VB (D). Jika energi yang diperoleh cukup besar untuk terjadinya perangkapan, maka rekombinasi bisa dicegah dan reaksi redoks dapat terjadi (Linsebigler, *et al*, 1995: 740).

Hole merupakan oksidator yang kuat, sedangkan elektron merupakan reduktor yang baik. Sebagian besar reaksi fotodegradasi senyawa organik menggunakan kekuatan *hole* untuk mengoksidasi baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga untuk mempertahankan muatan perlu ditambahkan spesies lain yang dapat tereduksi oleh elektron. Oleh karena itu tingkat keefektifan semikonduktor meningkat dengan modifikasi permukaan semikonduktor dengan logam tertentu, dan kombinasi semikonduktor atau bahan matrik lainnya (Hoffman, *et al*, 1995: 73).

Penambahan logam pada semikonduktor akan menyebabkan perubahan distribusi elektron, sehingga permukaan semikonduktor juga mengalami perubahan sifat. Akibatnya

efisiensi reaksi fotokatalitik meningkat, yang dapat terjadi dengan penambahan jumlah produk yang dihasilkan atau kecepatan reaksi yang semakin besar. Selain itu, penambahan logam juga dapat mengubah hasil reaksi. Modifikasi semikonduktor dengan penambahan logam dapat diilustrasikan pada gambar 4.



(Linsebigler, *et al*, 1995: 755).

Gambar 4. Mekanisme migrasi elektron pada permukaan semikonduktor termodifikasi logam

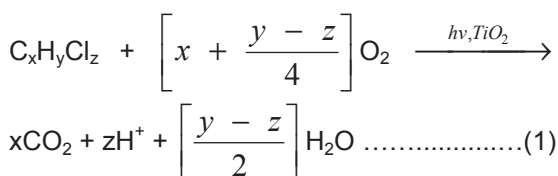
Gambar di atas menunjukkan bahwa logam menutupi sebagian kecil permukaan semikonduktor. Setelah tereksitasi, elektron akan bermigrasi dan terperangkap di dalam logam, sehingga rekombinasi elektron-*hole* terhalangi. Kemudian *hole* akan bebas berdifusi menuju permukaan semikonduktor, dimana oksidasi senyawa organik dapat terjadi.

Fotodegradasi (fotokatalitik degradasi) senyawa organik dapat diartikan sebagai suatu teknik mendestruksi senyawa organik secara oksidatif menggunakan cahaya dan melibatkan katalis yang dapat mempercepat fotoreaksi tersebut. Teknik ini dapat digunakan untuk mengolah polutan organik di dalam air dan udara. Secara umum terdapat dua macam senyawa yang ditambahkan untuk mempercepat proses fotodegradasi senyawa organik, yaitu oksidan kimia dan fotokatalis yang biasanya berupa semikonduktor.

Oksidan kimia telah digunakan dan dikembangkan dengan nama AOT (*Advanced Oxidation Technology*) yang merupakan gabungan dari H_2O_2 dengan radiasi sinar UV yang berdaya besar. Bahkan oksidan kimia ditambahkan ke dalam air yang terkontaminasi dengan bantuan sinar UV menghasilkan radikal hidroksil. Radikal ini akan bereaksi dengan kontaminan organik dan menghasilkan CO_2 , H_2O dan produk samping asam karboksilat dengan berat molekul kecil (Yu, *et al*, 1998: 750).

Fotodegradasi juga dapat dilakukan dengan memanfaatkan sinar matahari dengan bantuan fotokatalis semikonduktor seperti TiO₂, ZnS, CdS atau ZnO. Dengan adanya pemanasan oleh cahaya matahari, elektron suatu semikonduktor akan mengalami perpindahan dari pita valensi ke pita konduksi dengan meninggalkan *hole* VB, yang bersifat oksidator kuat. Akibatnya senyawa organik akan lebih mudah teroksidasi. (Kormann, *et al*, 1989: 161).

Metode ini sangat efisien karena memanfaatkan sinar matahari yang keberadaannya melimpah. Hasil akhirnya adalah air dan gas yang tidak berbahaya, sehingga tidak akan menimbulkan masalah baru. Penggunaannya telah diteliti untuk menghilangkan senyawa-senyawa yang sangat beracun, baik di dalam air baku maupun limbah. Sebagai contoh adalah oksidasi fotokatalis heterogen dari hidro-karbon terklorinasi, dengan stokiometri secara umum sebagai berikut (Hofmann, *et al*, 1995: 86):



Reaksi fotodegradasi terkatalisis TiO₂ telah diketahui merupakan reaksi orde 1, dimana reaksi jenis ini sangat istimewa karena harga konstante laju reaksinya tidak terpengaruh oleh konsentrasi awal substratnya. k orde 1 dirumuskan sebagai:

$$k = \ln (A/A_0)/t \dots\dots\dots(2)$$

A adalah konsentrasi substrat yang dapat dinyatakan sebagai bagian, f, atau % zat yang tersisa terhadap konsentrasi awal:

$$A = fA_0 \dots\dots\dots(3)$$

Dengan demikian persamaan (2) dapat ditulis: $k = (\ln f)/t$, dan dapat ditentukan dari plot $\ln A$ vs t dimana $k = -$ slope garis dalam plot.

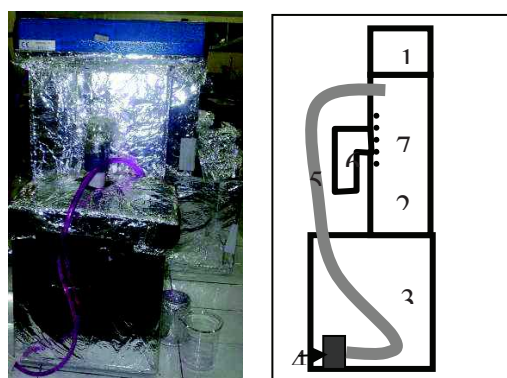
2. Metodologi Eksperimen

Gambar dan diagram sistem mengalir yang digunakan diberikan pada gambar 1. Sistem mengalir dilakukan dengan aliran berputar dimana dari *resevoir* (tandon) zat warna dipompa ke dalam sistem ruang katalitik yang berisi katalisator TiO₂ dan sinar UV pada panjang gelombang 254 nm. Dari ruang katalitik berkapasitas 2000 mL, larutan zat warna dialirkan melalui saringan 150

mesh (setara dengan partikel berdiameter 85µm) menuju ke reservoir kembali. Laju aliran bervariasi, menurut bahan katalisator yang digunakan. Hal ini disebabkan laju aliran tidak disetting khusus dengan pompa tetapi secara otomatis mengalir karena grafitasinya. Tetapi variasi aliran antara 120 sampai dengan 150 ml per menit, merupakan perubahan yang tidak signifikan. Dari data ini diketahui bahwa waktu interaksi antara zat warna dan katalisator di dalam ruang katalitik adalah 13,3 sampai dengan 16, 7 menit. Waktu monitoring konsentrasi dilakukan tiap 30 menit berarti satu putaran dari masing-masing bagian dapat termonitor.

Katalisator TiO₂ diembankan pada oksida yang dipilih yaitu Mg, Ca dan Ba karbonat, ukuran ayakan awal 60 mesh, dimana bahan lolos saringan (BLS) ini disaring kembali dengan ayakan 80 mesh. Dengan demikian partikel katalisator ini merupakan BTLS dari saringan 150 mesh yang digunakan pada sistem di ruang katalistik.

Penurunan konsentrasi zat warna selama pengamatan penelitian dapat disebabkan oleh non fotokatalitik, meliputi degradasi diri, sistem x-sorpsi maupun dari paparan UV. Untuk mengetahui apakah penurunan konsentrasi dari zat warna selama penelitian menyertakan proses-proses di atas, maka dalam penelitian ini dilakukan kontrol yang mengukur kinetika dari proses-proses tersebut. Berturut-turut dilakukan pengukuran terhadap proses pada larutan zat warna saja, zat warna dan UV saja dan terakhir zat warna dan katalisator saja tanpa UV. Efektivitas katalitik dari masing-masing diukur dari harga k orde 1 yang diper-oleh relatif terhadap kontrol masing-masing.

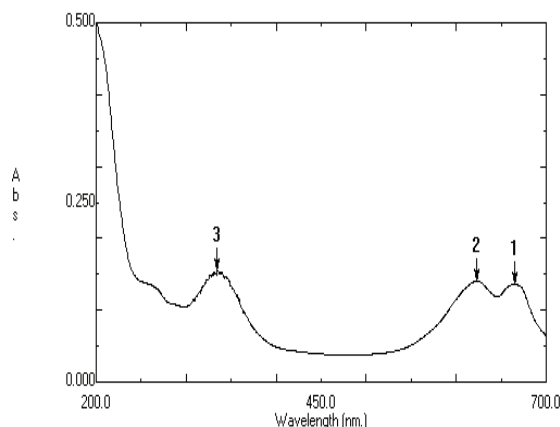


Keterangan: \n 1. lampu UV 2. ruang katalitik 3. reservoir 4. pompa 5. pipa outlet pompa 6. saluran aliran 7. saringan.

Gambar 12. Desain fotodegradasi terkatalisis dalam sistem mengalir

3. Pembahasan Hasil Penelitian

Spektrum UV/Vis dan kurva *Turquoise Blue*
Spektrum UV/Vis absorbansi larutan *Turquoise Blue* menggunakan range pada panjang gelombang 200-700 nm (gambar 2), terdapat 3 puncak yang dominan yaitu pada 664.50; 622.50; dan 344.50 nm. Dapat digunakan sebagai panjang gelombang pantauan analisis kuantitas keberadaan *Turquoise Blue*.



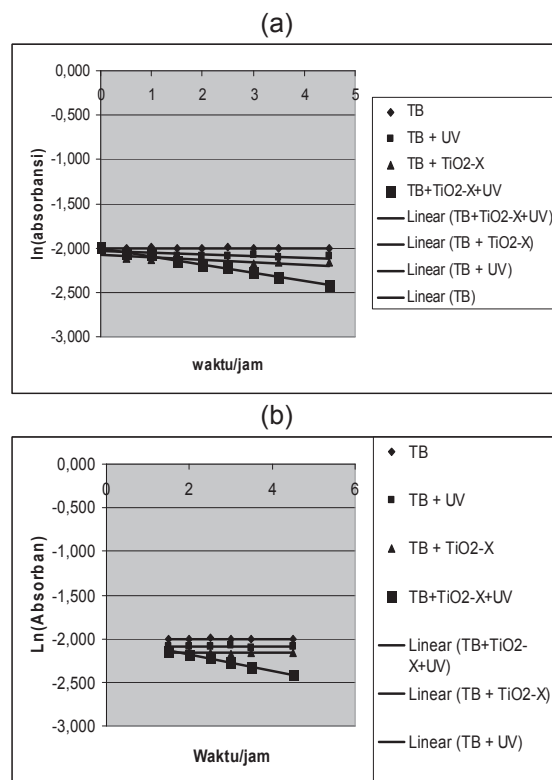
Gambar 2. Spektrum absorpsi larutan *Turquoise Blue*

Pada penelitian ini dipilih panjang gelombang monitoring pada 344,50 nm, yang merupakan panjang gelombang maksimum di daerah UV. Pemilihan pantauan didasarkan pada kenyataan bahwa puncak ini mempunyai serapan tertinggi dari 3 buah puncak yang teramati.

Kurva standar dari *Turquoise Blue* pada daerah penelitian menunjukkan harga $R^2=0,9988$. Karena pengujian kinetik telah diketahui bahwa reaksi fotodegradasi katalitis TiO_2 adalah merupakan reaksi orde 1, maka pengujian kinetik menjadi lebih sederhana. Kecuali penurunan konsentrasi dapat langsung dimonitor dari penurunan absorbansi, ditambah pula bahwa pada kenyataan reaksi orde 1 konsentrasi awal harga konstante lajunya sehingga tidak mempengaruhi waktu paroh ($t_{1/2}$) dari reaksi. Hal ini berarti berapapun konsentrasi awalnya harga konstante laju reaksi (k)nya tetap selama kondisi reaksi tetap. Akibatnya masa hidup reaksi (*life time*) hanya berdasarkan harga k tak peduli berapa konsentrasi awalnya.

Pengukuran kinetik proses degradasi diri diperoleh harga k orde 1 = $0,002 \text{ jam}^{-1}$. menunjukkan degradasi diri tidak terjadi selama percobaan. Sedangkan proses degradasi UV dan X-sorpsi terlihat signifikan dengan k = $0,20$ dan $0,27 \text{ jam}^{-1}$. Proses-proses ini terlihat tidak linier untuk reaksi orde 1 karena mulai waktu 1,5 jam reaksi berjalan

sangat lambat berturut-turut mempunyai k = $0,001$ dan $0,002 \text{ jam}^{-1}$. Gambar 3(a) menunjukkan plot $\ln(\text{absorbansi})$ vs waktu dari 0 s/d 4,5 jam dan 3(b) dari 1,5 s/d 4,5 jam. Di sini ditunjukkan data kinetic proses degradasi diri (TB), Degradasi UV (TB+UV), X-sorpsi (TB+ TiO_2 - $MgCO_3$) dan fotodegradasi (TB+ TiO_2 - $MgCO_3$ +UV).



Gambar 2. Plot $\ln(\text{absorbansi})$ vs waktu untuk menghitung k-orde 1.

Kesimpulan tersebut di atas ternyata berlaku juga untuk X yang lain yaitu Ca dan Ba-karbonat sebagai pengembannya. Terutama pada proses X-sorpsi mempunyai harga yang tidak jauh berbeda dengan harga k orde 1 pada $0,03 \text{ jam}^{-1}$ diukur sampai 1,5 jam pertama dan mendekati 0 jam^{-1} setelah 1,5 jam. Sedangkan untuk fotodegradasi mempunyai harga k orde 1 yang konstan. Dengan alasan bahwa penggunaan reaksi ini adalah dalam jangka waktu sampai reaksi sempurna, dimana apabila diambil dalam contoh ini yaitu untuk TiO_2 - $MgCO_3$ mempunyai harga k = $0,095 \text{ jam}^{-1}$, berarti reaksi sempurna akan terjadi setelah melampui waktu hidupnya, $\square = 1/k = 10,5$ jam, maka tidaklah berlebihan apabila harga k orde 1 fotodegradasi dapat mewakili laju reaksi dengan mengabaikan proses degradasi diri maupun paparan sinar UV-nya.

Tabel 1 menunjukkan data yang diperoleh dalam proses fotodegradasi

menggunakan $X = \text{MgCO}_3$, CaCO_3 dan BaCO_3 . Dalam kisaran kesalahan pengukuran dengan range 2 Sd dapat disimpulkan bahwa penggunaan pengemban dalam variasi Mg, Ca dan Ba-karbonat urutan efektifitas katalisator $\text{TiO}_2\text{-X}$ adalah sebagai berikut: $\text{CaCO}_3 > \text{BaCO}_3 > \text{MgCO}_3$. dari data terlihat bahwa ketiga pengemban adalah potensial. Ini merupakan waktu yang relatif pendek dalam pengolahan limbah.

Tabel 1. Perbandingan laju reaksi orde 1 dan waktu hidup fotodegradasi terkatalisa $\text{TiO}_2\text{-X}$ dari zat warna *Turquoise Blue*

X	k_1 (jam^{-1})	Life time (jam)
MgCO_3	$0,094 \pm 0,008$	10,50
CaCO_3	$0,263 \pm 0,016$	3,80
BaCO_3	$0,122 \pm 0,006$	8,22

Keterangan: Harga diambil dalam range 2x Sd.

Tabel 1 menunjukkan data yang diperoleh dalam proses fotodegradasi menggunakan $X = \text{MgCO}_3$, CaCO_3 dan BaCO_3 . Dalam kisaran kesalahan pengukuran dengan range 2 Sd dapat disimpulkan bahwa penggunaan pengemban dalam variasi Mg, Ca dan Ba-karbonat urutan efektifitas katalisator $\text{TiO}_2\text{-X}$ adalah sebagai berikut: $\text{CaCO}_3 > \text{BaCO}_3 > \text{MgCO}_3$. dari data terlihat bahwa ketiga pengemban adalah potensial. Ini merupakan waktu yang relatif pendek dalam pengolahan limbah.

Sistem Mengalir (*flow system*) Versus Sistem Kolam (*bath system*)

Belum ada data penelitian keefektifan pengemban X khususnya untuk garam Mg, Ca dan Ba-karbonat menggunakan bath system, tetapi dalam bentuk lain, menggunakan TiO_2 saja tanpa pengemban (Mudjijono, 1998) $0,04 \text{ jam}^{-1}$ dalam larutan CuSO_4 (Aryadhita, 2006) dengan harga $k = 0,128 \text{ jam}^{-1}$ dapat digunakan untuk membandingkan secara tidak langsung. Dalam bath system tanpa menggunakan TiO_2 saja harga k lebih kecil jika dibandingkan dengan penambahan lingkungan CuSO_4 . Dimana dalam lingkungan CuSO_4 mempunyai keefektifan ekuivalen dengan flow system pada pengemban BaCO_3 ($k = 0,122 \text{ jam}^{-1}$). Efektifitas medium diantara 3 pengemban garam karbonat golongan IIA. Walaupun tidak dapat membandingkan seluruh hasil dari flow system terhadap bath system, tetapi beberapa hal telah diketahui minimal mempunyai harga k yang sama, tetapi dalam

bath system secara teknis diperlukan metoda pemisahan katalisator yang tidak mudah. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa penggunaan flow system lebih unggul dalam perspektif teknik baik efektifitas maupun kesederhanaan teknik.

4. Kesimpulan

Fotodegradasi terkatalisis $\text{TiO}_2\text{-X}$ dimana X adalah garam Mg, Ca dan Ba-karbonat dalam system mengalir dengan kondisi ukuran katalisator BLS 60 mesh dan BTLS 80 mesh dan saringan outlet 150 mesh, laju aliran berada pada 120 sampai dengan 150 mL per menit.

Konstante laju reaksi orde 1 dapat dijadikan acuan laju fotodegradasi terkatalisis $\text{TiO}_2\text{-X}$, karena laju reaksi yang menyertai tidak lebih dari 1,5 jam dan dapat diabaikan.

Efektifitas X terhadap laju reaksi berbeda secara signifikan dan masing-masing secara berutan adalah Ca, Ba dan Mg-karbonat. Dengan harga k order 1 berturut-turut 0,263; 0,122; 0,094 jam^{-1} atau memberikan lifetime (waktu reaksi sempurna) sebesar 3,80; 8,22 dan 10,50 jam.

Dalam beberapa alasan dan hasil perbandingan harga k orde 1 yang diperoleh maka penggunaan flow system lebih unggul dalam perspektif teknik baik efektifitas maupun kesederhanaan teknik.

5. Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Program Pasca Sarjana yang telah memberikan dukungan dana untuk penelitian ini. Juga Indro Kusuma, Nursia dan Astri Kustati yang telah membantu penelitian awal dan banyak menopang data.

DAFTAR PUSTAKA

- Fibrilianto. 2006. *Pengaruh Ion Cu^{2+} Terhadap Efektifitas Katalis Semikonduktor TiO_2 pada Reaksi Fotodegradasi Zat Warna Turquoise Blue*. Seminar Kimia. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Ashadi. 2000. *Studi Penggunaan Katalis ZnO Untuk Fotodegradasi Zat Warna Reaktif*. Surakarta: Laboratorium Pusat MIPA UNS.
- Azaroff, L. V., et al. 1970. *The Imperfect Solid State*. McGraw-Hill.
- Brown, G.N., Birks, J.W. and Koval. 1992. *Development and Characterization of a Titanium-Dioxide Based Semiconductors Photoelectrochemical Detector*. Journal Analysis Chemistry. Vol. 64.

- Cotton, F. A., and Geoffrei Wilkinson, 1988. *Advance Inorganic Chemistry*, 5th edition. New York: John Wiley and Sons.
- Hazama, C., Hachioji S. 2004. *Titanium Oxide Photocatalyst*. Three Bond Technical News. Tokyo, 1 – 8.
- Hoffmann. M.R., S.T. Martin, W. Choi, and D.W. Bahnemann. 1995. *Environmental Applications of Semiconductor Photocatalysis*. Chemical Reviews. Vol 95, No. 1. California: American Chemical society.
- Ismningsih Gitopadmojo. 1978. *Pengantar Kimia Zat Warna*. Bandung : ITT
- Kirk-Othmer. 1993. *Encyclopedia of Chemical Thecnology*. New York: John Wiley and Sons.
- Kormann C., D.W. Bahnemann, M.R.J. Hoffmann. 1989. *Photo Chem. Photobiol*. Chemical Reviews, Vol. 48. 161 – 169.
- Kustati Astri. 2009. *Efektivitas Katalis TiO_2 Dengan Pengembangan $MgCO_3$ Pada Fotodegradasi Zat Warna Turquoise Blue*. Seminar Kimia. FKIP. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Kusumo, Indro. 2008. *Komparasi Penggunaan Katalis Semikonduktor TiO_2 - $BaCO_3$ pada Fotodegradasi Zat Warna Turquoise Blue antara Flow System dan Batch System*. Seminar Kimia. FKIP. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Linsebigler. A.L., Lu, and J.T Yates, Jr. 1995. *Photocatalysis on TiO_2 Surface : Principles, Mechanisms, and Selected Results*. Chemical Reviews, Vol. 48, No. 3.
- Mudjijono, dkk. 1998. *Fotodegradasi beberapa zat warna Menggunakan Katalisator TiO_2* . Jaringan Kerjasama Kimia Indonesia Prosiding Seminar Nasional II. Yogyakarta: Holiday Inn.
- Noqueira, R.F.P. and Jardin, W.F. 1993. *Photodegradation of Methilen Blue Using solar Light and Semiconductor (TiO_2)*. Journal of Chemical Education. Vol. 70, No. 10.
- Nursia. 2008. *Perbandingan Penggunaan Katalis Semikonduktor TiO_2 - $CaCO_3$ pada Fotodegradasi Zat Warna Turquoise Blue antara Flow System dan Batch System*. Seminar Kimia. FKIP. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Panji Surjadi Mosha. 2005. Studi Penggunaan Katalis Semikonduktor ZnO dengan Penambahan Ion Logam Cu^{2+} dan Ag^{2+} Untuk Fotodegradasi Zat Warna Metyl Orange. *Skripsi*. F. MIPA. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Rasyid Djufri. 1973. *Teknologi Pengelantangan, Pencelupan dan Pencapan*. Bandung: ITB.
- RR. Sunaryati D.R. 1999. *Pengaruh Konsentrasi Katalisator TiO_2 Dalam Reaksi Fotodegradasi Zat Warna Turq Blue*. Seminar Kimia. Surakarta : Universitas Sebelas Maret.
- Satria, Vanni. 2008. *Uraian Lengkap Sistem Periodik Unsur Kimia*. Jakarta : Pustaka Widyatama.
- Seeger, K. 1988. *Semiconductor Physicsan Introduction, 4th edition*. New York: Spinger Verlag Berlin Heidelberg.
- Sugiharto, 1987. *Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah*, Cetakan I PAU Pangan dan Gizi. Bogor: IPB.
- Sukisman Purtadi. 1999. Pengaruh Konsentrasi OH^- Terhadap Fotodegradasi Zat Warna Coomasie Turquoise Blue dengan Katalis TiO_2 . *Seminar Kimia* Surakarta: Univesitas Sebelas Maret.
- Sunaryati. 1999. *Pengaruh Konsentrasi Katalisator TiO_2 Dalam Reaksi Fotodegradasi Zat Warna Turquoise Blue*. Seminar Kimia. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Yu, J.C., and L.Y.L Chan. 1998. *Photocatalytic Degradation of a Gaseous Organic Polution*. Journal Chemical Education vol. 75, No. 6. Hongkong.

TANYA JAWAB

1. Penanya : Suyanta (UGM)

Pertanyaan :

Mengapa dalam penelitian ini hanya ditinjau aspek kinetika (k), bagaimana aspek termodinamika lainnya (K) ?

Jawaban :

Reaksi tidak reversible tapi searah karena hasil destruksi melepaskan CO_2 , NO_2 , dll.

2. Penanya : Annisa A. Putri

Pertanyaan :

TiO_2 merupakan material berpori dan bersifat semikonduktor. Dalam pengolahan limbah, yang berperan pada TiO_2 lebih ke kemampuan adsorpsi atau fotokatalitiknya?

Jawaban :

Dalam data yang dipaparkan terlihat proses X-sorpsi mempunyai k yang sangat kecil dibandingkan dengan k katalis. Oleh karena itu yang mendominasi proses destruksi adalah destruksi terkatalisisnya.