

Performance Test with TiO₂ Modified Activated Carbon on Pilot Scale Phenol Removal

Slamet¹, Ade Putera¹ dan Setijo Bismo¹

Abstract—The integrated of activated carbon adsorbent and TiO₂ photocatalyst (TiO₂/AC) has been synthesized and evaluated to remove phenol in the continuous pilot scale system. TiO₂/AC was prepared by mixing of AC into sol system consisting of TiO₂ Degussa P-25, water, and tetraethyl orthosilicate (TEOS) solution as a source of silica. The mixtures then evaporated at ±97°C and calcined at 400°C. Performance test of the material was conducted using Tubular-V-Collector (TVC) reactor that equipped with 14 UV black light lamps. The experimental results show that the phenol could effectively be removed through simultaneous adsorption and photocatalysis. Within the residence time of 6 minutes, TiO₂/AC could continuously remove the 50 ppm of phenol by 100% phenol removal as long as 5 hours.

Keywords—Adsorption, Activated carbon, Photocatalysis, TiO₂, Phenol

I. PENDAHULUAN

Salah satu senyawa organik yang paling sering ditemukan dalam kandungan limbah perindustrian adalah fenol yang diantaranya terbentuk karena penggunaan tungku batubara, perindustrian minyak, pekerjaan teknis, dan proses pelepasan cat [1]. Fenol pada konsentrasi tertentu dapat menyebabkan gangguan fisiologis pada ikan serta dapat menghambat aktifitas mikroorganisme dan ganggang hijau/biru pada proses nutrifikasi. Selain itu, fenol juga dapat memberi efek buruk bagi manusia berupa kerusakan hati dan ginjal, penurunan tekanan darah, pelemahan detak jantung, hingga kematian. Konsentrasi fenol maksimum pada lingkungan yang diperbolehkan adalah antara 0,5-1,0 mg/L (KEPMEN LH No. 51/MENLH/10/1995) dan ambang batas fenol dalam air baku air minum adalah 0,002 mg/L.

Banyak cara telah dilakukan untuk penyisihan limbah fenol, antara lain dengan menggunakan mikroorganisme, metode *air stripping*, adsorpsi, ataupun dengan menggunakan fotokatalisis [2]. Kombinasi dua metode terakhir inilah yang memiliki prospek baik dan mulai dikembangkan oleh beberapa pihak.

Adsorben yang paling banyak digunakan untuk penyisihan senyawa organik (termasuk fenol) adalah karbon aktif (AC), karena memiliki beberapa kelebihan seperti tingkat porositas yang tinggi serta mudah dihasilkan dengan cara perlakuan panas dan/atau kimiawi terhadap kayu, batubara, tempurung kelapa, dan gula [3]. Akan tetapi polutan yang hanya diadsorpsi oleh AC tidak dihan-

curkan sehingga suatu saat adsorben tersebut menjadi jenuh dan tidak aktif lagi. Untuk mengaktifkan kembali AC tersebut maka perlu diregenerasi dengan pemanasan hingga 800°C, sehingga proses adsorpsi tidak dapat berjalan secara kontinyu dan dinilai kurang ekonomis [3].

Semikonduktor TiO₂ telah banyak digunakan sebagai material fotokatalis karena kelebihanannya seperti tingkat aktifitas yang tinggi, sifat kimia yang stabil, tidak beracun, tahan terhadap foto-korosi, dan relatif murah [3], [4]. Akan tetapi TiO₂ yang bentuk umumnya adalah serbuk halus membuatnya sulit dilakukan pemisahan setelah reaksi [4]. Selain itu, sifat dari TiO₂ yang hidrofilik menyebabkan sulit berdekatan dengan senyawa organik seperti fenol yang bersifat hidrofobik, sehingga proses degradasi fenol yang seharusnya berlangsung pada permukaan katalis menjadi lebih lambat dan kurang efektif [5].

Berdasarkan uraian tersebut, maka kombinasi proses adsorpsi dan fotokatalisis diharapkan dapat mendegradasi fenol secara lebih efektif dan efisien. Penelitian tentang kombinasi AC dan TiO₂ masih jarang dilakukan. Diantaranya Matos dkk [6] yang membuat TiO₂/AC dengan metode pencampuran secara mekanis untuk mendegradasi fenol, dan [3] dengan metode *mechanofusion* untuk mendegradasi *methylene blue*. Berdasarkan kedua penelitian tersebut diketahui bahwa proses penyisihan bisa berlangsung lebih baik dibandingkan hanya menggunakan metode fotokatalisis saja. Akan tetapi, proses penyisihan yang dilakukan masih dalam skala laboratorium dan sistem *batch*. Pada penelitian ini akan diuji efektifitas kinerja dari kombinasi adsorben karbon aktif dan fotokatalis TiO₂, untuk penyisihan fenol dengan reaktor skala pilot yang bekerja secara kontinyu.

II. METODE PENELITIAN

A. Preparasi TiO₂/AC

Sol TiO₂ dibuat dengan cara mencampurkan sejumlah TiO₂ ke dalam 250 ml air demin (air bebas mineral), kemudian disonikasi selama 30 menit menggunakan *ultrasonic bath*. Setelah itu ditambahkan larutan TEOS ke dalam sol tersebut yang dilanjutkan dengan sonikasi selama 30 menit. TEOS merupakan sumber SiO₂ yang berfungsi sebagai perekat antara TiO₂ dan AC. Pada saat penambahan larutan TEOS, pH larutan turun (asam) sehingga permukaan TiO₂ menjadi bermuatan positif, akibatnya daya tolak antar partikelnya semakin besar yang mengakibatkan TiO₂ bisa terdistribusi secara merata pada seluruh permukaan cairan [7].

Karbon aktif (KARBOSORB ANK 102, Brataco Chemical) yang sudah dicuci dan dikeringkan dimasukkan ke dalam sol tersebut, dilakukan sonikasi kembali selama 30 menit. Setelah itu, campuran yang terbentuk dievaporasi pada suhu ± 97°C sambil diaduk sampai cairan teruap-

Naskah diterima pada tanggal 5 Februari 2008, selesai revisi pada 4 Desember 2008

¹ Slamet, Ade Putera dan Setijo Bismo adalah Dosen Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, INDONESIA. E-mail : slamet@che.ui.edu

kan. Campuran dikalsinasi pada suhu 400°C selama 1 jam. Pada suhu tersebut struktur kristal TiO₂ yang terbentuk adalah anatase [8].

B. Uji Kinerja TiO₂/AC

Dalam penelitian ini digunakan reaktor *Tubular V Collector* (TVC), yang terdiri dari sejumlah *tube*/pipa pyrex (diameter dalam 23 mm, panjang 650 mm) yang disusun seri dan dilengkapi sejumlah lampu UV *Phillips black light lamp* berdaya @ 18 watt. Jumlah TiO₂/AC yang dimasukkan kedalam setiap *tube* adalah 100 g. Skema foto reaktor untuk uji kinerja TiO₂/AC dapat dilihat pada Gambar 1.

Larutan fenol dengan konsentrasi dan laju alir tertentu dialirkan secara kontinu ke dalam reaktor selama ±5 jam untuk setiap harinya. Perubahan konsentrasi fenol yang keluar reaktor dianalisa pada interval waktu tertentu dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 500 nm. Parameter yang divariasi adalah

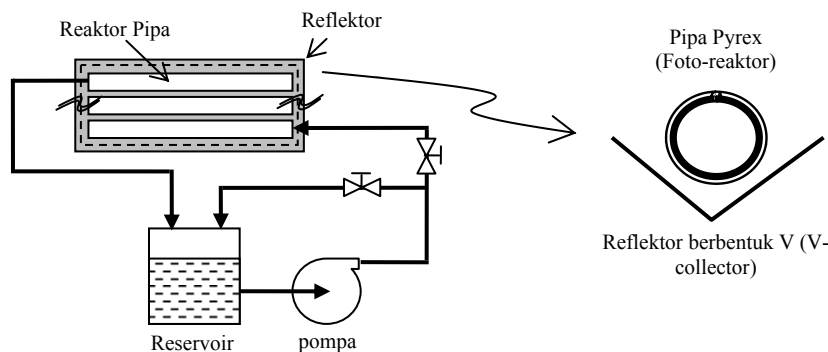
koncentrasi awal fenol (30-50 ppm), laju alir (160-320 ml/menit), dan jumlah *tube* reaktor (2-4 *tube*).

Dalam pembahasan ini akan digunakan istilah “% penyisihan fenol” [persentase antara konsentrasi fenol yang disisihkan dari fase cair (C₀-C) setelah pengolahan selama ±5 jam, dibandingkan dengan konsentrasi awal fenol (C₀)] dan “umur pakai TiO₂/AC” [total waktu TiO₂/AC melakukan penyisihan fenol hingga mencapai keadaan baku mutu limbah fenol (≤ 0,5 ppm)].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian terdahulu karakterisasi BET terhadap AC telah dilakukan menggunakan *Autosorb-6B, Gas Sorption System*, buatan Quantachrome. Data hasil karakterisasi BET tersebut adalah sebagai berikut (Slamet dkk. 2006):

- Average pore diameter = 20,73 Å
- Pore volume = 0,3473 cc/g
- Multipoint BET = 670 m²/g



Gambar 1. Skema foto reaktor untuk uji kinerja TiO₂/AC

A. Uji Adsorpsi Fenol dengan AC

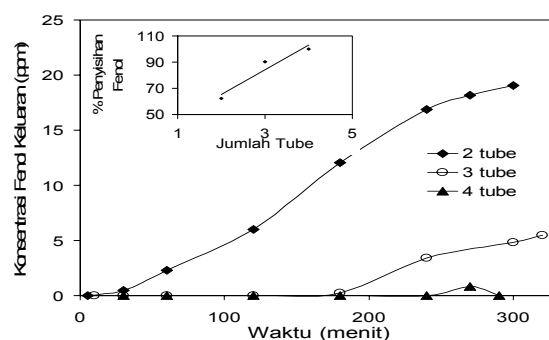
Pengujian adsorpsi fenol dilakukan menggunakan AC yang dikeringkan pada suhu 400°C dan divariasikan jumlah *tube*-nya. Hasil uji adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 2, yang menunjukkan bahwa dengan bertambahnya waktu, konsentrasi fenol keluar reaktor mengalami kenaikan. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan adsorpsi AC mengalami penurunan atau dengan kata lain adsorben AC mulai jenuh. Jadi semakin banyak jumlah AC yang digunakan, maka akan semakin banyak pula fenol yang dapat diadsorpsi [9], atau waktu jenuhnya semakin lama.

Pada proses adsorpsi menggunakan AC terjadi selektivitas adsorpsi, dimana didalam air, AC lebih memilih molekul-molekul organik dan substansi-substansi non-polar. Fenol yang merupakan senyawa organik dan lebih bersifat non-polar pada sistem pengolahan ini tentunya akan lebih disukai oleh AC dibandingkan air [10]. Hasil yang didapatkan dari pengujian ini semakin meyakinkan bahwa karbon aktif merupakan adsorben yang kuat dalam mengadsorpsi fenol.

B. Pengaruh Treatment Awal AC

Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh *treatment* yang berupa pemanasan awal AC terhadap ki-

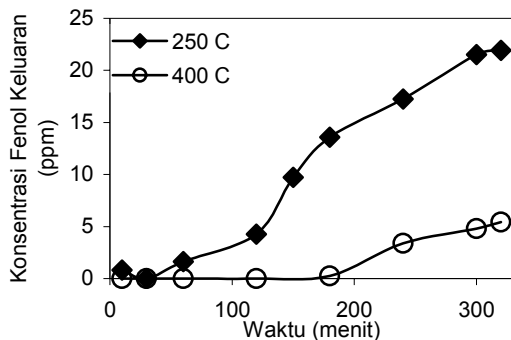
nerja TiO₂/AC. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Adsorpsi fenol dengan AC murni (C₀ = 50 ppm, Q = 120 ml/menit)

Berdasarkan Gambar 3, ketika digunakan suhu pengeringan 400°C, umur pakai AC meningkat cukup jauh jika dibandingkan dengan suhu 250°C. Pada suhu pengeringan 250°C, AC hanya mampu mengadsorpsi fenol (hingga mencapai kondisi baku mutu) selama 30 menit; sedangkan pada suhu pengeringan 400°C, AC mampu mengadsorpsi fenol (hingga mencapai kondisi baku mu-

tu) selama 3 jam. Akan tetapi hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada suhu pengeringan 400°C, jumlah AC yang hilang selama *treatment* adalah sebanyak 20% berat, sedangkan pada suhu pengeringan 250°C sebanyak 14,5 %berat. Selain itu *treatment* pada suhu yang lebih tinggi akan mengkonsumsi energi yang lebih tinggi pula.



Gambar 3. Pengaruh *treatment* awal AC sebelum dilapisi TiO₂ (C₀ = 50 ppm, Q = 120 ml/menit, jumlah tube = 3)

Ketika AC yang mengalami perlakuan berbeda tersebut dilapisi TiO₂, hasil yang didapatkan tidak menunjukkan perbedaan signifikan. Berdasarkan Gambar 4, perbedaan paling menonjol terjadi hanya pada hari pertama. Hal ini terjadi karena komposisi AC yang dominan mengakibatkan mekanisme penyisihan adsorpsi mendominasi, sehingga ketika suhu pengeringan AC ditingkatkan, jumlah pengotor semakin sedikit [11] maka kemampuan adsorpsi juga akan membaik. Jika dibandingkan kemampuan adsorpsi antara hari I, II, dan III, terlihat bahwa semakin hari kemampuan adsorpsinya sedikit menurun. Hal ini disebabkan oleh semakin jenuhnya AC dengan polutan fenol.

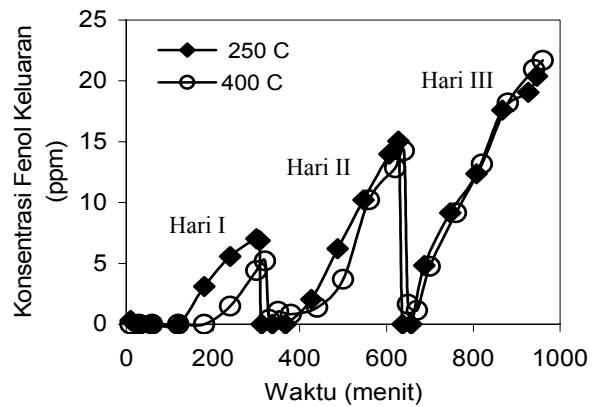
C. Uji Adsorpsi dan Fotokatalisis TiO₂/AC

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui aktivitas TiO₂ yang menempel pada AC dalam proses penyisihan fenol. Ketika lampu UV tidak digunakan, proses penyisihan yang terjadi hanya adsorpsi, akan tetapi ketika lampu UV dinyalakan maka proses fotokatalisis juga berlangsung. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 5.

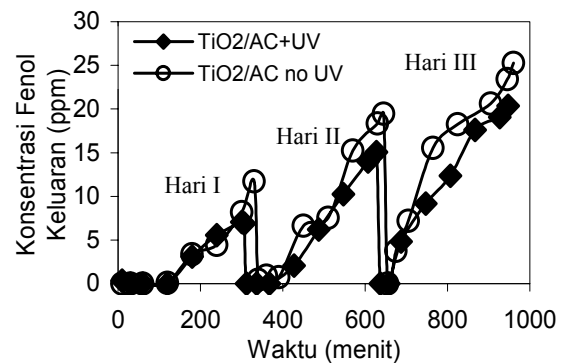
Berdasarkan Gambar 5, terdapat perbedaan sekitar 5 ppm antara proses yang menggunakan lampu UV dan tanpa UV. Ini berarti proses fotokatalisis memberikan kontribusi pengurangan sebesar 5 ppm. Nilai ini mungkin bisa ditingkatkan apabila intensitas UV yang diberikan diperbesar [4], [12]. Apabila dilihat dari hasil yang didapatkan bahwa kinerja fotokatalisis hanyalah sebesar 5 ppm, ada kemungkinan bahwa komposisi Ti/AC yang digunakan ini masih belum optimum. Selain itu, kondisi TiO₂/AC yang dimampatkan juga mempengaruhi sinar UV yang mengaktifasi TiO₂ [13], dimana TiO₂ yang terletak di tengah-tengah *tube* reaktor kurang teraktivasi dengan efektif.

Pada proses penyisihan menggunakan lampu UV, proses adsorpsi dan degradasi fenol terjadi secara simultan. AC bekerja dengan cara mengadsorpsi fenol, sehingga fenol tersebut menjadi lebih dekat dengan TiO₂. Mekanisme ini dapat memaksimalkan kontak antara reaktan,

katalis, dan foton sehingga proses degradasi fenol dapat berlangsung lebih efektif [14].



Gambar 4. Pengaruh *treatment* awal AC setelah dilapisi TiO₂ pada uji adsorpsi (C₀ = 50 ppm, Q = 120 ml/menit, jumlah tube = 3)



Gambar 5. Pengaruh lampu UV terhadap konsentrasi fenol keluaran (C₀ = 50 ppm, Q = 120 ml/menit, jumlah tube = 3)

Jika dibandingkan kemampuan adsorpsi antara hari I, II, dan III, terlihat bahwa semakin hari kemampuan adsorpsinya sedikit menurun. Hal ini disebabkan oleh semakin jenuhnya AC dengan polutan fenol, sementara kemampuan degradasi fotokatalitik oleh TiO₂ tidak sebanding karena jumlahnya yang jauh lebih kecil.

D. Pengaruh Konsentrasi Awal Fenol

Gambar 6 menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi awal fenol, umur pakai TiO₂/AC semakin singkat. Apabila dibuat persamaan garis lurus antara konsentrasi awal fenol dengan % penyisihan fenol (Gambar 6.a), maka diperoleh beberapa persamaan sebagai berikut:

Hari I : %P = -0,7(C₀) + 123,1 (1)

Hari II : %P = -1,5(C₀) + 147,9 (2)

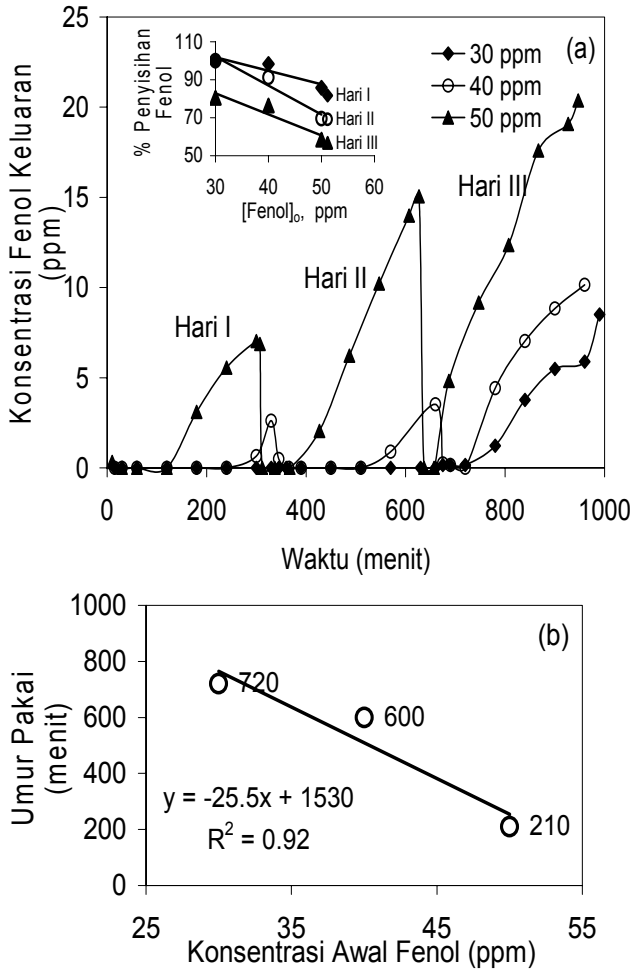
Hari III : %P = -1,1(C₀) + 116,0 (3)

dengan %P merupakan % Penyisihan Fenol pada tiap hari proses penyisihan, sedangkan C₀ adalah konsentrasi awal fenol dengan rentang nilai 30 – 50 ppm. Adapun hubungan antara umur pakai (UP) TiO₂/AC dengan konsentrasi awal fenol (Gambar 6.b) dapat dirumuskan dengan persamaan garis lurus berikut:

UP = -25,5(C₀) + 1530 (4)

Persamaan tersebut hanya berlaku pada rentang konsentrasi awal fenol 30-50 ppm.

Pada penelitian sebelumnya dengan sistem batch menggunakan TiO₂ Degussa P25 [13], peningkatan konsentrasi awal fenol hingga 50 ppm dapat meningkatkan % degradasi fenol, dan setelah itu terjadi penurunan. Fenomena tersebut tidak terjadi pada penelitian ini, karena umpan fenol selalu baru (sistem kontinu) dan sistem ini lebih memperhatikan umur pakai TiO₂/AC dalam melakukan penyisihan fenol.



Gambar 6. Pengaruh konsentrasi awal fenol terhadap: (a) konsentrasi fenol keluaran dan (b) umur pakai (pengujian 3 hari, 3 tube, Q = 120 ml/menit)

E. Pengaruh Jumlah Tube Reaktor

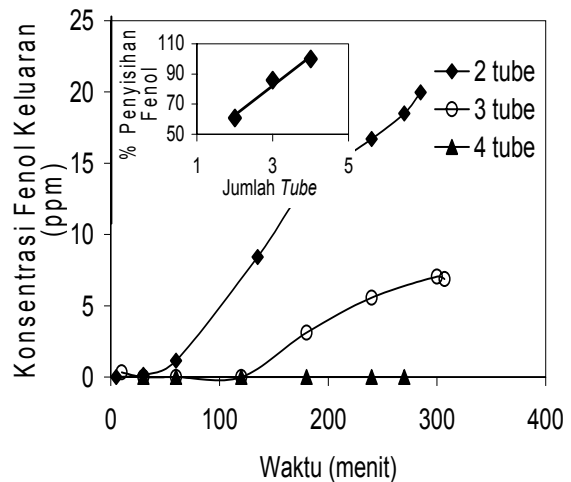
Hasil yang didapatkan dalam pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 7, memiliki kecenderungan yang sama dengan uji adsorpsi dengan AC saja. Hal ini terjadi karena AC merupakan komposisi yang dominan dalam TiO₂/AC. Semakin banyak jumlah tube, waktu kontak antara fenol dengan TiO₂/AC akan semakin panjang, sehingga semakin banyak fenol yang dapat disisihkan.

Melalui Gambar 7 dapat dibuat suatu persamaan hubungan antara % Penyisihan fenol (%P) dengan jumlah tube (ΣT) seperti pada persamaan (5), yang berlaku untuk jumlah tube 2 – 4 buah.

$$\%P = 19,6(\Sigma T) + 23,6 \quad (5)$$

Proses penyisihan senyawa organik menggunakan sistem immobilized (TiO₂ menempel pada suatu penyangga) berbeda dengan sistem suspensi tanpa penyangga [13], [15]. Pada sistem suspensi, semakin banyak jumlah katalis maka proses penyisihan akan berjalan semakin baik.

Akan tetapi bila terlalu banyak, suspensi yang terbentuk akan terlalu sulit ditembus oleh sinar UV sehingga proses penyisihan kembali menurun. Adapun pada sistem immobilized (seperti yang digunakan pada penelitian ini), sinar UV yang masuk memang cenderung terhalang. Fenomena di atas, seperti yang dikemukakan oleh [13], terjadi karena support yang digunakan umumnya tidak transparan. Akan tetapi pada penelitian ini peningkatan jumlah TiO₂/AC tidak akan terlalu mempengaruhi intensitas UV yang sampai ke TiO₂ karena penambahan TiO₂/AC dilakukan dengan cara menambah jumlah tube yang digunakan.



Gambar 7. Pengaruh jumlah tube terhadap konsentrasi fenol keluaran (C₀ = 50 ppm, Q = 120 ml/menit)

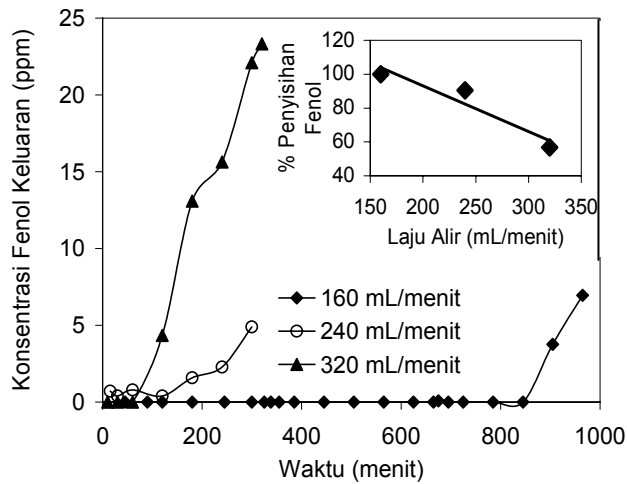
F. Pengaruh Laju Alir Umpan

Besarnya laju alir umpan reaktor juga mempengaruhi waktu tinggal fenol dalam TiO₂/AC. Semakin besar laju alir yang digunakan, maka waktu kontak antara fenol dengan TiO₂/AC semakin singkat. Gambar 8 menunjukkan bahwa semakin besar laju alir fenol, persentase fenol yang tersisihkan semakin rendah dikarenakan waktu tinggal yang semakin singkat. Hubungan antara % Penyisihan Fenol (%P) dengan laju alir umpan (Q) adalah:

$$\%P = -0,3(Q) + 147,3 \quad (6)$$

Persamaan (6) di atas berlaku untuk nilai Q pada rentang 160 – 240 ml/menit.

Penelitian yang dilakukan oleh Ludwig [16] mengenai proses adsorpsi dan degradasi TOC (*total organic carbon*) menggunakan TiO₂/SiO₂ didapatkan hasil yang lebih bervariasi. Pada proses adsorpsi (sistem kontinu), didapatkan bahwa semakin kecil laju alir yang digunakan, TiO₂/SiO₂ mampu meng-adsorpsi limbah lebih banyak. Adapun pada proses degradasi (sistem sirkulasi) didapatkan bahwa untuk laju alir rendah, proses degradasi berjalan lebih lambat dibandingkan dengan menggunakan laju alir tinggi [16]. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini serupa dengan proses adsorpsi tersebut. Namun untuk konstanta laju penyisihan belum dapat dievaluasi pada penelitian ini, karena proses penyisihan pada sistem kontinu ini berlangsung dengan sangat cepat.



Gambar 8. Pengaruh laju alir fenol terhadap konsentrasi fenol keluaran ($C_0 = 50$ ppm, Jumlah tube = 6)

G. Pengaruh Waktu Tinggal

Dengan menggabungkan data-data variasi jumlah tube dan laju alir umpan, maka dapat dievaluasi pengaruh waktu tinggal terhadap % penyisihan fenol seperti disajikan pada Gambar 8 berikut. Semakin lama waktu tinggal dalam reaktor maka semakin besar % penyisihan fenol yang diperoleh. Namun setelah 6 menit peningkatan waktu tinggal tidak lagi signifikan meningkatkan % penyisihan fenol, karena nilainya sudah mendekati 100%.

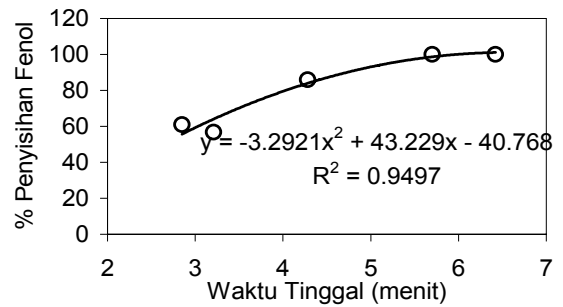
Pada Gambar 10, terlihat bahwa perubahan jumlah tube dan laju alir secara bersamaan, dimana perubahan tersebut tidak mengubah nilai waktu tinggalnya, hasil penyisihan fenol hampir sama, terutama pada kondisi dimana TiO_2/AC sudah mulai jenuh. Terdapat sedikit perbedaan sebesar 2 ppm pada konsentrasi akhir proses penyisihan, dimana untuk 6 tube memiliki nilai konsentrasi keluaran yang lebih rendah. Fenomena ini mungkin terjadi dikarenakan dengan jumlah TiO_2/AC yang lebih banyak maka laju alir fenol juga harus lebih besar, sehingga diperkirakan profil aliran yang terjadi akan semakin turbulen. Profil aliran yang turbulen mengakibatkan udara yang masuk dalam sistem menjadi lebih banyak, sehingga kandungan O_2 dalam sistem akan lebih banyak juga. Jumlah oksigen yang bertambah inilah yang mempengaruhi hasil yang didapatkan, karena semakin banyak oksigen dalam sistem maka proses degradasi secara fotokatalisis akan berlangsung lebih efektif, seperti yang ditunjukkan juga oleh Zhang dkk [12].

Hubungan antara waktu tinggal (t , menit) dan % penyisihan fenol (%P) pada Gambar 9 dapat dirumuskan dengan persamaan (7). Persamaan tersebut berlaku hanya untuk konsentrasi awal limbah fenol sebesar 50 ppm dan rentang waktu tinggal 2,85 – 6,42 menit.

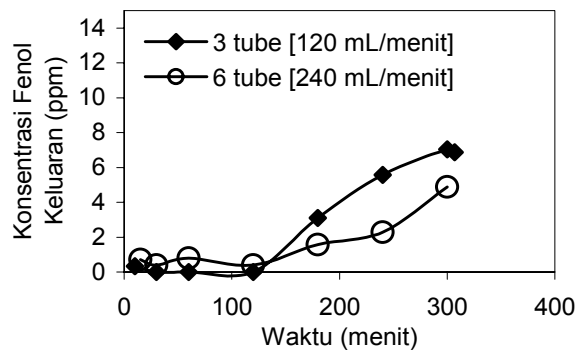
$$\%P = -3,3(t)^2 + 43,2(t) - 40,8 \tag{7}$$

Pada Gambar 10, terlihat bahwa perubahan jumlah tube dan laju alir secara bersamaan, dimana perubahan tersebut tidak mengubah nilai waktu tinggalnya, hasil penyisihan fenol hampir sama, terutama pada kondisi dimana TiO_2/AC sudah mulai jenuh. Terdapat sedikit perbedaan sebesar 2 ppm pada konsentrasi akhir proses penyisihan, dimana untuk 6 tube memiliki nilai konsentrasi keluaran yang lebih rendah. Fenomena ini mungkin ter-

jadi dikarenakan dengan jumlah TiO_2/AC yang lebih banyak maka laju alir fenol juga harus lebih besar, sehingga diperkirakan profil aliran yang terjadi akan semakin turbulen. Profil aliran yang turbulen mengakibatkan udara yang masuk dalam sistem menjadi lebih banyak, sehingga kandungan O_2 dalam sistem akan lebih banyak juga. Jumlah oksigen yang bertambah inilah yang mempengaruhi hasil yang didapatkan, karena semakin banyak oksigen dalam sistem maka proses degradasi secara fotokatalisis akan berlangsung lebih efektif, seperti yang ditunjukkan juga oleh Zhang dkk [12].



Gambar 9. Pengaruh variasi waktu tinggal terhadap % penyisihan fenol



Gambar 10. Scale-up 3 tube (120 mL/menit) menjadi 6 tube (240 mL/menit) [$C_0 = 50$ ppm]

IV. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari uji kinerja terhadap adsorben dan fotokatalis terintegrasi (TiO_2/AC) adalah sebagai berikut:

1. Kemampuan adsorpsi karbon aktif (AC) sangat kuat, terutama dalam mengadsorpsi fenol. Akan tetapi proses adsorpsi saja tidak dapat mendegradasi fenol melainkan hanya memindahkan dari limbah cair ke permukaan pori AC.
2. Adsorben dan fotokatalis terintegrasi (TiO_2/AC) yang telah dibuat dapat melakukan proses penyisihan fenol dengan baik karena adanya kombinasi proses adsorpsi dan fotokatalisis yang berjalan secara simultan.
3. Kinerja TiO_2/AC semakin baik seiring dengan penurunan konsentrasi awal fenol, yang ditandai dengan tercapainya ambang baku mutu fenol (< 1 ppm). Hubungan antara umur pakai TiO_2/AC (UP, menit) dengan konsentrasi awal fenol (C_0 , 30-50 ppm)

dapat dituliskan dengan persamaan: $UP = -25,5(C_0) + 1530$.

4. Parameter utama pada uji kinerja TiO₂/AC dengan variasi jumlah *tube* dan laju alir adalah waktu tinggal. Dengan waktu tinggal 6 menit, TiO₂/AC mampu menyisihkan 50 ppm fenol hingga 100% penyisihan yang berlangsung secara kontinyu selama 5 jam.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Ditjen Dikti, Kementerian Pendidikan Nasional RI, atas bantuan finansialnya pada penelitian ini melalui proyek Penelitian Hibah Bersaing XIV tahun anggaran 2006-2007.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alemany, L. J., Banares, M. A.; Pardo, E., Martin, F., Fereres, M. G. and Blasco, M. 'Photodegradation of phenol in water using silica-supported titania catalysts', *Appl. Catal. B: Environ.*, Vol. **13**:3-4, pp. 289-297. 1997.
- [2] Saravanan, P., Mandal, B. and Saha, P. 'Solar Photocatalytic Treatment of Phenolic Waste Water', *Chemcon*. 2005.
- [3] Kahn, A. Y. Titanium Dioxide Coated Activated Carbon: A Regenerative Technology for Water Recofery, *Thesis*, University of Florida. 2003
- [4] Li, Y., Li, X., Li, J. and Yin, J. 'Photocatalytic Degradation of Methyl Orange in a Sparged Tube Reactor with TiO₂-coated Activated Carbon Composites', *Catal. Commun.*, Vol. **6**, pp. 650-655. 2005.
- [5] Kubo, M., Fukuda, H., Chua, X. J. and Yonemoto, T. 'Ultrasonic Degradation of Phenol in Presence of Composite Particles of TiO₂ and Activated Carbon', Available: [<http://aiche.confex.com/aiche/2005/techprogram>], (tanggal akses: 25 September 2007). 2005.
- [6] Matos, J., Laine, J. and Herrmann, J. M. 'Synergy Effect in Photocatalytic Degradation of Phenol on a Suspended Mixture of Titania and Activated Carbon', *Appl. Catal. B: Environ.*, Vol. **18**, pp. 281-291. 1998.
- [7] Meinzer, R. A. and Birbara, P. J. 'Photocatalytic Semiconductor Coating', US Patent No. 5.593.737. 1997.
- [8] Tjahjanto, R.T. dan Gunlazuardi, J. 'Preparasi Lapisan Tipis TiO₂ sebagai Fotokatalisis: Keterkaitan antara Ketebalan dan Aktivitas Fotokatalisis', *Jurnal Penelitian Universitas Indonesia*, Vol. **5**, No. 2, pp. 81-91. 2001.
- [9] Qadeer, R. and Rehan, A.H. 'A Study of the Adsorption of Phenol by Activated Carbon from Aqueous Solutions', *Turk. J. Chem.*, Vol. **26**, pp. 357-361. 2002.
- [10] Fessenden, R.J. and Fessenden, J.S. *Kimia Organik*, jilid 2, Alih bahasa: Aloysius Hadyana Pudjaatmaka, Erlangga, Jakarta. 1989.
- [11] Othmer, K. *Encyclopedia of Chemical Technology*, Vol. 25, 4th ed., Wiley Interscience. 1994.
- [12] Zhang, L., Kanki, T., Sano, N. and Toyoda, A. 'Photocatalytic Degradation of Organic Compounds in Aqueous Solution by a TiO₂-Coated Rotating-Drum Reactor Using Solar Light', *Solar Energy*, Vol. **70**, No. 4, pp. 331-337. 2001.
- [13] Grzechulska, J. and Morawski, A.W. 'Photocatalytic Labirinth Flow Reactor with Immobilized P25 TiO₂ Bed for Removal of Phenol from Water', *Appl. Catal. B: Environ.*, Vol. **46**, pp. 415-419. 2003
- [14] Matthews, R.W. 'An Adsorption Water Purifier with in Situ Photocatalytic Regeneration', *J. Catal.*, Vol. **113**, pp. 549-555. 1998.
- [15] Bideau, M., Claudel, B., Dubien, C., Faure, L. and Kazouan, H. 'On the "Immobilization" of Titanium Dioxide in The Photocatalytic Oxidation of Spent Water', *J. Photochem. Photobiol. A: Chemistry*, Vol. **91**, pp.137-144. 1995.
- [16] Ludwig, C.Y. 'The Performance of Silica-Titania Composites in a Packed-Bed Reactor for Photocatalytic Degradation of Gray Water', *Thesis*, University of Florida. 2004.
- [17] Slamet, Bismo, S., Arbianti, R. and Sari, Z. 'Penyisihan Fenol dengan Kombinasi Proses Adsorpsi dan Fotokatalisis Menggunakan Karbon Aktif dan TiO₂', *Jurnal Teknologi*, Ed. **4**, Tahun XX, pp. 303-311. 2006.