

Optimasi Durasi Pelapisan Katalis TiO_2 pada Permukaan Polimer Polipropilena serta Aplikasinya dalam Fotodegradasi Larutan Metilen Biru

H. Aliah¹, A. E. Nurasiah², Y. Karlina², O. Arutanti¹, Masturi¹, E. Sustini¹,
M. Budiman¹, dan M. Abdullah^{1,*}

¹Prodi Fisika, Fak. MIPA, ITB, Bandung

²Jur. Fisika, Fak. Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati, Bandung

*Email: din@fi.itb.ac.id

Abstrak. Katalis semikonduktor TiO_2 telah diimobilisasi secara termal pada permukaan polimer polipropilena (PP: TiO_2) di dalam tabung pengaduk sederhana yang dilengkapi dengan pemanas terkontrol. Pelapisan TiO_2 pada permukaan PP dilakukan pada temperatur pengadukan 100 °C dengan durasi pengadukan yang bervariasi antara 60 menit sampai dengan 120 menit. Pengaruh durasi pengadukan terhadap proses fotokatalitik TiO_2 diamati melalui pengujian fotodegradasi pada 250 ml larutan limbah model organik metilen biru (MB) dengan konsentrasi awal 2.00×10^{-5} M. yang diberikan katalis TiO_2 /PP sebanyak 9 gram dan dikenai sinar matahari selama 5 hari. Dari hasil pengujian fotodegradasi, polimer yang dilapisi TiO_2 dengan durasi pengadukan 90 menit mampu mendekomposisi senyawa organik paling baik dengan konstanta laju reaksi sebesar 0.98 jam^{-1} dan waktu paruh sebesar 0.71 jam.

Kata Kunci: Katalis TiO_2 , polimer polipropilena, fotodegradasi, metilen biru, durasi pelapisan

PENDAHULUAN

Air sebagai salah satu kebutuhan dasar memegang peranan penting dalam mendukung keberlangsungan hidup manusia. Semakin bertambahnya jumlah penduduk serta pertumbuhan industri yang cukup pesat menyebabkan terbatasnya persediaan air bersih dan tercemarnya sumber-sumber air oleh limbah-limbah organik. Untuk itu diperlukan upaya untuk menjernihkan air yang telah tercemar.

Beberapa teknik penjernihan air diantaranya adalah teknik penyerapan limbah pada air dengan karbon aktif, pengolahan secara oksidasi dengan klorin, metode pengendapan, *air stripping*, *flocculation*, *reverse osmosis* dan *ultrafiltration* dan fotokatalisis dengan menggunakan material semikonduktor sebagai katalis [1-5]. Dibandingkan dengan metode-metode penjernihan air lainnya, teknik fotokatalisis mempunyai kelebihan, diantaranya: (1) sifat oksidasinya kuat; (2) tidak membentuk senyawa baru yang beracun; (3) ikatan kimianya stabil terhadap cahaya; (4) tidak larut dalam air; dan (5) biayanya yang relatif lebih murah.

Dalam proses fotokatalisis, terjadi reaksi transformasi kimia yang berlangsung pada permukaan bahan katalis semikonduktor bila terinduksi sinar matahari sebagai sumber foton [6]. Titanium Dioksida (TiO_2) dipandang sebagai semikonduktor katalis terbaik dalam proses fotokatalisis karena memiliki efisiensi oksidasi yang tinggi, menghasilkan proses

dekomposisi kontaminan organik yang sempurna, murah dan mudah didapatkan, dan relatif tidak menghasilkan produk sampingan [7].

Pada umumnya, penggunaan katalis TiO_2 dalam proses penjernihan dilakukan dengan memasukkan serbuk katalis ke dalam air tercemar yang disinari matahari. Metode ini tidak efisien karena kurangnya daya adsorpsi serbuk katalis terhadap limbah dan dibutuhkan penanganan lebih lanjut untuk memisahkan katalis dari air setelah proses penjernihan selesai. Imobilisasi katalis TiO_2 pada suatu penyangga dengan berbagai teknik dapat menjadi alternatif untuk mengatasi masalah di atas [8-10].

Pelapisan partikel TiO_2 di permukaan polimer polipropilena (PP) dapat dilakukan dengan teknik pemanasan terkontrol disertai pengadukan. Proses pelapisan ini sangat bergantung pada temperatur dan durasi pengadukan, dengan nilai optimum dari kedua parameter tersebut diperoleh dari pengujian fotodegradasi katalis pada model limbah organik. Optimasi temperatur pengadukan telah dilakukan dan dilaporkan dalam paper sebelumnya [11]. Hasil penelitian mengenai optimasi parameter durasi pelapisan akan dilaporkan dalam paper ini.

METODE EKSPERIMEN

Eksperimen ini terdiri atas tiga tahapan utama, yaitu modifikasi fotokatalis TiO_2 /PP, pengujian katalis

dalam proses fotodegradasi larutan limbah dan karakterisasi.

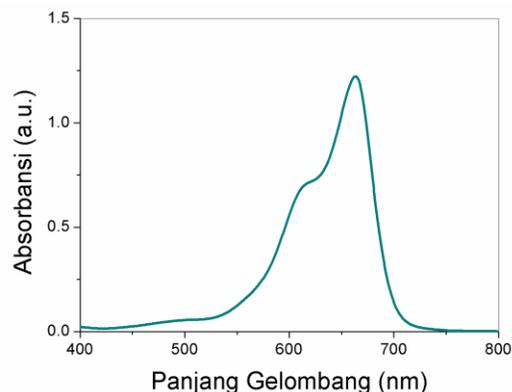
Material utama yang digunakan dalam modifikasi fotokatalis adalah TiO_2 fasa teknik dan polimer Polipropilena dengan massa jenis $0,817 \text{ g/cm}^3$, berturut-turut sebagai katalis dan penyangga katalis. Imobilisasi TiO_2 pada permukaan polimer PP dilakukan dengan cara pelapisan termal menggunakan teknik *cylinder milling* dalam pemanggang listrik rumah tangga yang terintegrasi dengan pengatur temperatur dan waktu. Untuk mengetahui nilai optimum parameter durasi pengadukan, proses modifikasi fotokatalis dilakukan pada temperatur 100°C dengan durasi *milling* yang bervariasi antara 30–120 menit. Setelah proses pengadukan berakhir, dilakukan penyaringan, pencucian dan pengeringan fotokatalis untuk mendapatkan katalis yang menempel dengan baik di permukaan polimer.



GAMBAR 1. Oven listrik rumah tangga dengan pengatur temperatur dan waktu dilengkapi dengan wadah pengaduk berbentuk silinder yang dapat berputar di bagian tengah oven.

Pengaruh durasi pengadukan terhadap aktivitas fotokatalis TiO_2/PP , diamati melalui pengujian fotodegradasi larutan limbah model menggunakan katalis dengan durasi pengadukan yang bervariasi. Pengujian 9 gram katalis dilakukan pada 250 ml limbah model metilen biru (MB) dengan konsentrasi awal $2.00 \times 10^{-5} \text{ M}$ dan terpapar disinar matahari selama 5 hari dengan intensitas matahari rata-rata di pagi, siang dan sore hari berturut-turut adalah $1.58 \times 10^4 \text{ lux}$, $3.57 \times 10^4 \text{ lux}$ dan $2.31 \times 10^4 \text{ lux}$

Limbah metilen biru yang sedang dalam proses penjernihan diamati setiap hari dan pengambilan sampel uji dilakukan setiap sore hari. Pengujian ini dilakukan secara kuantitatif menggunakan UV-Vis spektrometer terhadap sampel limbah MB, dimana senyawa MB menghasilkan spektrum serapan maksimum pada panjang gelombang sekitar 664 nm seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2. Larutan MB yang tidak diketahui konsentrasinya dapat dihitung berdasarkan kurva kalibrasi larutan MB standar.



GAMBAR 2. Spektrum serapan senyawa metilen biru pada hari ke-0 pengujian fotodegradasi MB dengan katalis TiO_2/PP .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fotodegradasi MB sangat bergantung pada jumlah katalis yang aktif dalam proses fotokatalitik di samping kemampuan material katalis untuk meneruskan cahaya dalam rangka mengaktifkan katalis lain yang ada di bawahnya. Penerapan katalis dengan transparansi yang tinggi sekaligus dengan jumlah katalis yang optimum akan menghasilkan reaksi dengan laju dekomposisi yang besar. Kedua parameter di atas dapat diatur dengan mengoptimasi durasi pelapisan katalis.

Pelapisan TiO_2 di permukaan polimer PP dengan durasi yang bervariasi akan menghasilkan fotokatalis TiO_2/PP dengan massa jenis jenis yang bervariasi pula. Semakin lama proses pengadukan, maka semakin banyak partikel TiO_2 yang menempel di permukaan polimer PP. Nilai massa jenis untuk masing-masing variasi durasi pelapisan terangkum dalam Tabel 1.

TABEL 1. Massa jenis katalis TiO_2/PP pada temperatur pelapisan 100°C dengan durasi yang bervariasi.

Lama pelapisan katalis (menit)	Massa jenis (g/cm^3)
30	0.806
60	0.814
90	0.829
120	0.845

Berdasarkan hasil pengukuran massa jenis di atas, diketahui bahwa semakin lama proses pelapisan berlangsung maka semakin banyak partikel katalis TiO_2 yang menempel di permukaan polimer. Pelapisan dengan durasi antara 30–120 menit menghasilkan material fotokatalis yang dapat mengapung di permukaan larutan model limbah. Ini disebabkan karena massa jenisnya yang kurang dari massa jenis air sebagai pelarut senyawa MB. Dengan demikian, katalis yang dikembangkan ini berpotensi sebagai

alternatif penjernihan dengan cara yang lebih mudah dan efisien dibandingkan dengan katalis yang disuspensikan ke dalam air limbah. Dengan menggunakan katalis ini, proses pemisahan katalis dari air hasil penjernihan menjadi lebih mudah.

Durasi pelapisan katalis juga berperan penting terhadap sifat transparansi polimer berlapis katalis. Sifat transparansi ini terkait dengan intensitas cahaya matahari yang dapat menembus satu butir katalis, sehingga dapat mengaktifkan katalis lain yang berada di bawahnya yang mengakibatkan semakin banyak elektron tereksitasi meninggalkan *hole* dan pada akhirnya berperan dalam dekomposisi senyawa organik. Secara kasat mata, fotokatalis yang dihasilkan dengan proses pengadukan hingga 60 menit menunjukkan transparansi yang cukup baik, yang hampir sama dengan polimer PP tak berlapis katalis. Selanjutnya, semakin lama proses pelapisan, maka transparansi katalis akan semakin berkurang.

Pengaruh durasi pelapisan katalis terhadap aktivitas fotokatalitik diselidiki dengan melakukan pengujian fotodegradasi MB menggunakan katalis-katalis dengan durasi pelapisan yang bervariasi. Parameter sintesis dan pengujian terangkum dalam Tabel 2 di bawah ini.

Sesuai dengan hukum Lambert-Beer, semakin kecil konsentrasi MB dalam larutan ditandai dengan berkurangnya nilai absorbansi larutan MB yang terukur pada panjang gelombang di sekitar 664 nm pada spektrometer UV-Vis. Nilai serapan MB dalam uji fotodegradasi menggunakan katalis dengan durasi pelapisan katalis yang bervariasi terangkum dalam Tabel 3.

TABEL 2. Parameter sintesis katalis TiO₂/PP dan pengujian aktivitas fotokatalitik.

Temperatur pengadukan	100°C
Durasi pengadukan	30, 60, 90 dan 120 menit
Konsentrasi awal MB	2.00×10 ⁻⁵ M
Volume larutan MB	250 ml
Massa katalis	9 g

Semakin lama waktu penyinaran, semakin banyak foton yang mengenai permukaan katalis. Bila energi yang dipancarkan oleh foton lebih besar atau sama dengan pita energi TiO₂, akan terjadi eksitasi elektron dan memungkinkan *hole* menjadi radikal bebas yang berperan dalam dekomposisi senyawa MB. Semakin banyak MB yang terdekomposisi dalam proses fotokatalitik, maka semakin berkurang konsentrasi senyawa MB dalam larutan.

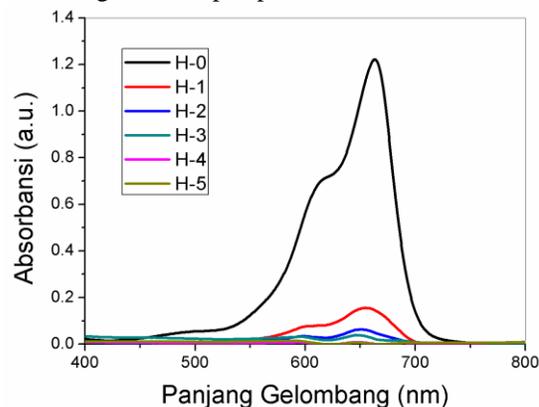
Berdasarkan Tabel 3, katalis dengan durasi pelapisan 90 menit berperan paling baik dalam proses fotodegradasi MB. Katalis dengan durasi pelapisan 30 dan 60 menit mempunyai transparansi yang baik tetapi

hanya sedikit katalis yang menempel di permukaan polimer, sehingga tidak cukup efisien dalam.

TABEL 3. Serapan MB ($\lambda = 664$ nm) dalam uji pengaruh durasi pelapisan terhadap fotodegradasi MB.

Hari ke-	A ₃₀ menit	A ₆₀ menit	A ₉₀ menit	A ₁₂₀ menit
0	1.222	1.222	1.222	1.222
1	0.546	0.491	0.145	0.238
2	0.370	0.157	0.048	0.139
3	0.231	0.070	0.022	0.057
4	0.113	0.063	0.001	0.016
5	0.043	0.018	0.000	0.008

fotodegradasi senyawa organik. Berbeda dengan katalis yang disintesis selama 120 menit, di mana banyak TiO₂ yang menempel tapi mengakibatkan berkurangnya daya tembus cahaya pada katalis tersebut. Dengan demikian, transparansi dan jumlah optimum katalis yang menempel dalam proses fotokatalitik ini dihasilkan oleh pelapisan pada temperatur 100°C selama 90 menit. Gambar 3 menampilkan spektrum serapan MB yang diberi katalis dengan durasi pelapisan 90 menit.



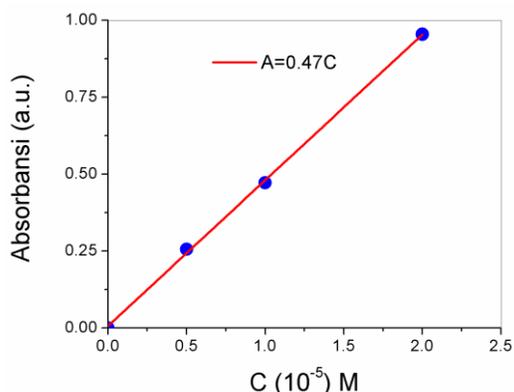
GAMBAR 3. Spektrum serapan MB menggunakan fotokatalis dengan durasi pelapisan 90 menit, mulai hari ke-0 (H-0) sampai dengan hari ke-5 (H-5).

Larutan MB yang tidak diketahui konsentrasinya dapat dihitung berdasarkan kurva kalibrasi larutan MB standar yang ditampilkan pada Gambar 4. Grafik tersebut menunjukkan hubungan linear antara konsentrasi dan absorbansi larutan MB menurut persamaan

$$A = 0.47 * C \quad (1)$$

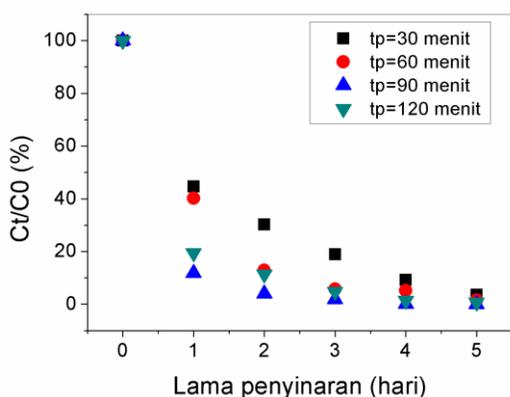
dengan A adalah absorbansi larutan MB pada panjang gelombang 664 nm dan C merupakan konsentrasi larutan MB.

Penerapan Pers. (1) untuk nilai-nilai serapan yang terangkum pada Tabel 3 menghasilkan besaran konsentrasi masing-masing sampel uji mulai hari ke-0



GAMBAR 4. Kurva kalibrasi larutan MB standar.

hingga hari ke-5. Rasio antara konsentrasi pada suatu waktu dengan konsentrasi awal MB menunjukkan laju fotodegradasi yang dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



GAMBAR 5. Fotodegradasi MB dengan parameter seperti dalam Tabel 1 menggunakan katalis dengan durasi pelapisan t_p yang bervariasi.

TABEL 4. Pengaruh durasi pelapisan katalis terhadap kinetika reaksi.

Durasi Pelapisan (menit)	k (jam ⁻¹)	$t_{1/2}$ (jam)
30	0.627	1.106
60	0.817	0.865
90	1.610	0.430
120	0.975	0.717

Sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya, fotodegradasi pada MB dalam eksperimen ini merupakan kinetika reaksi orde I. Pengaruh lama pelapisan katalis terhadap laju kinetika reaksi dan waktu paruh reaksi ditampilkan pada Tabel 4. Laju reaksi yang paling cepat dan waktu paruh yang paling singkat dihasilkan dalam fotodegradasi MB menggunakan katalis dengan durasi pelapisan 90 menit.

KESIMPULAN

Modifikasi material fotokatalis TiO₂/PP menggunakan teknik pengadukan termal pada pengadukan 100°C dengan durasi pengadukan bervariasi antara 30–120 menit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa aktivitas fotokatalitik paling baik menggunakan katalis yang diaduk selama 90 menit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai melalui Hibah Penelitian Mahasiswa Program Doktor Tahun Anggaran 2011.

DAFTAR PUSTAKA

- J. V. Fiore dan R. A. Babineau, *Appl. Environ. Biology* **35**, 541-546 (1977).
- J. Swietlik, U. R. Stanislawiak, S. Bilozor, W. Ilecki dan J. Nowrocki, *Polish J. Environ. Studies*, **11**, 435-439 (2002).
- D. H. Bass dan T. E. Sylvia, *Heated Air Stripping for The Removal of MTBE from Recovered Groundwater*, Ground Water Tech (1992).
- K. Hashimoto, H. Irie dan A. Fujishima, *Jpn. J. Appl. Phys.* **44**, 8269-8285 (2005).
- Nor Hafizah dan Iis Sopyan, *Int. J. of Photoenergy*, Vol. 2009 (2009).
- Slamet, R. Syakur dan W. Danamulyo, *Jurnal Makara Teknologi* **7**: 27-32 (2003).
- I. F. Amalia, H. Aliah, Kharurrijal, M. Abdullah, "Optimasi Jumlah Katalis TiO₂ pada Fotodegradasi Larutan Metilen Biru dengan Matahari sebagai Sumber Cahaya" dalam *Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA-2010*, edited by Kismiantini et al., Prosiding Seminar Nasional UNY, Yogyakarta, Indonesia, 2010, pp. 379-380.
- K. V. Subba Rao, M. Subrahmanyam dan P. Boule, *Appl. Cat. B: Environ.* **49**, 239-249 (2004).
- V. A. Isnaini, I. F. Amalia, H. Aliah, O. Arutanti, Masturi, B. W. Nuryadin, M. Abdullah and Khairurrijal, "A Novel Method for Synthesis of TiO₂ Nanoparticles-coated Plastic Fibers Using a Sound Vibration and the Use of Coated Fibers as Photocatalytic Materials for Decomposing of Organic Pollutant in Water Under Sunlight Illumination" in *The Third Nanoscience and Nanotechnology Symposium 2010*, edited by M. Abdullah et al., AIP Conf. Proc. 1284, American Institute of Physics, Melville, NY, 2010, pp. 134-137.
- I. Nurmawarti, M. Abdullah, dan Khairurrijal, *J. Nano Saintek. Spec. Ed.*, 38-42 (2009).
- H. Aliah, O. Arutanti, Masturi, A. Setiawan, E. Sustini, M. Budiman, M. Abdullah, "Optimization of Coating Temperature of TiO₂ Powder on the Polypropylene Polymer Surface for Photocatalytic Degradation of Methylene Blue" in *The Fourth Nanoscience and Nanotechnology Symposium 2011*, edited by Ferry Iskandar et al., AIP Conf. Proc. 1415, American Institute of Physics, Melville, NY, 2011, pp. 155-158.