

Pelapisan Partikel TiO₂ pada Polimer Polipropilena dan Aplikasinya sebagai *Reusable Photocatalyst*

H. Aliah¹, A. Sawitri², M. P. Aji¹, A. Setiawan¹, 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 TiO₂ telah diimobilisasi secara termal pada permukaan polimer polipropilena (TiO₂/PP) di dalam tabung pengaduk sederhana yang dilengkapi dengan pemanas terkontrol. Pelapisan TiO₂ pada permukaan PP dilakukan pada temperatur pengadukan 110 °C dengan durasi pengadukan 90 menit. Proses fotokatalitik TiO₂ diamati melalui pengujian fotodegradasi pada 250 ml liter larutan limbah model organik metilen biru (MB) dengan konsentrasi awal 2.00×10^{-5} M. yang diberikan katalis TiO₂/PP sebanyak 9 gram dan dikenai sinar matahari selama 5 hari. Kestabilan material fotokatalis diuji dengan menggunakan fotokatalis TiO₂/PP secara berulang. Diperoleh hasil bahwa fotokatalis yang digunakan hingga empat kali pengujian fotodegradasi menunjukkan unjuk kerja yang hampir sama dengan material yang baru digunakan untuk satu kali pengujian, yaitu mampu mendekomposisi senyawa MB hingga 99% hingga hari ke-5. Dengan demikian, partikel TiO₂ yang dilapiskan pada permukaan polimer PP dapat digunakan sebagai *reusable photocatalyst* untuk menjernihkan air limbah organik.

Kata kunci: Katalis TiO₂, polimer polipropilena, fotodegradasi, metilen biru, *reusable photocatalyst*

PENDAHULUAN

Pertambahan penduduk serta pertumbuhan industri yang pesat menyebabkan terbatasnya persediaan air bersih dan tercemarnya sumber-sumber air oleh limbah-limbah organik. Untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan upaya untuk menjernihkan air yang telah tercemar. Salah satu di antaranya adalah teknik fotokatalisis menggunakan material semikonduktor.

Dalam proses fotokatalisis, terjadi reaksi transformasi kimia yang berlangsung pada permukaan bahan katalis semikonduktor bila terinduksi sinar matahari sebagai sumber foton. Titanium Dioksida (TiO₂) dipandang sebagai semikonduktor katalis terbaik dalam proses fotokatalisis karena efisiensi oksidasinya yang tinggi, menghasilkan proses dekomposisi kontaminan organik yang sempurna, murah dan mudah didapatkan, serta tidak menghasilkan produk sampingan [1].

Pada umumnya, penggunaan katalis TiO₂ dalam proses penjernihan dilakukan dengan menebarkan serbuk katalis ke dalam air tercemar yang disinari matahari. Metode ini kurang 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 TiO₂ pada suatu penyangga dengan berbagai teknik menjadi alternatif untuk mengatasi masalah di atas [2,3]. Salah satu di

antaranya yang sedang dikembangkan adalah pelapisan katalis pada permukaan polimer polipropilena [4].

Pelapisan partikel TiO₂ di permukaan polimer polipropilena 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 [5], sedangkan optimasi parameter durasi pengadukan akan dilaporkan dalam paper lainnya. Paper ini akan mengkaji mengenai kestabilan katalis di permukaan polimer sehingga dapat digunakan secara berulang untuk mendegradasi limbah organik dalam air.

METODE EKSPERIMEN

Material utama yang digunakan dalam eksperimen ini adalah TiO₂ teknis (Bratachem, Indonesia) sebagai katalis semikonduktor dan polimer polipropilena berbentuk granula dengan massa jenis 0.8174 g/cm^3 (Polyolefin Company, Singapore Pte. Ltd) sebagai penyangga material katalis.

Material fotokatalis TiO₂/PP dihasilkan melalui proses pelapisan partikel TiO₂ pada permukaan polimer PP. Pelapisan dilakukan dengan teknik *thermal milling* di mana kedua material tersebut

dicampurkan dan diaduk dalam suatu silinder yang berputar di bagian tengah pemanggang listrik. Pemanggang listrik yang digunakan dalam eksperimen ini berupa oven listrik rumah tangga Kirin model KBO-190 RAW yang dilengkapi dengan pengatur temperatur dan waktu. Proses pengadukan berlangsung selama 90 menit dengan temperatur 100°C. Setelah proses pelapisan berakhir, material fotokatalis kemudian dicuci dan dikeringkan untuk menghilangkan partikel TiO₂ yang tidak menempel dengan baik pada permukaan butiran polimer

Pengujian aktivitas fotokatalis TiO₂ dilakukan terhadap larutan metilen biru (MB) sebagai model larutan limbah organik. Senyawa MB menghasilkan spektrum serapan maksimum pada panjang gelombang di sekitar 664 nm

Eksperimen pengujian katalis dilakukan dengan memasukkan 9 gram katalis TiO₂/PP ke dalam 250 ml model limbah MB (konsentrasi awal 2.00×10⁻⁵ M). Katalis akan mengapung pada permukaan model limbah karena kerapatan katalis lebih kecil daripada kerapatan larutan MB. Pengujian dilakukan di bawah sinar matahari selama 5 hari. Sampel uji diambil setiap sore hari untuk kemudian dilakukan pengukuran absorbansi larutan MB. Absorbansi larutan diukur dengan menggunakan UV-VIS spektrometer dan konsentrasinya dihitung berdasarkan kurva kalibrasi larutan MB standar.

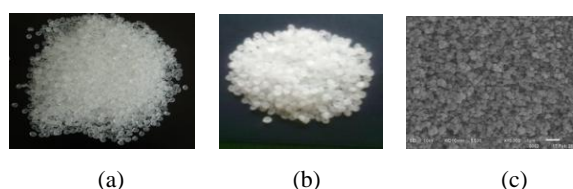
Untuk menguji kestabilan fotokatalis dalam mendekomposisi material organik, material TiO₂/PP digunakan dalam uji fotodegradasi MB secara berulang hingga empat kali pakai. Pada tahap awal, uji fotodegradasi MB dilakukan untuk katalis yang baru pertama kali digunakan dan sampel uji diambil pada hari kelima. Selanjutnya, uji dilakukan dengan menggunakan katalis yang baru digunakan satu kali bersamaan dengan uji fotodegradasi MB dengan katalis yang dipakai untuk kedua kalinya. Pada hari kelima pengujian, diperoleh sampel uji yang menunjukkan fotodegradasi MB yang menggunakan katalis satu kali dan dua kali pakai. Demikian seterusnya, hingga diperoleh fotodegradasi MB yang menggunakan katalis satu kali, dua kali, tiga kali dan empat kali pakai.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelapisan TiO₂ pada permukaan granula polimer PP dengan temperatur pengadukan 100°C menghasilkan fotokatalis yang masih tembus cahaya juga belum mengalami deformasi. Citra SEM menunjukkan bahwa temperatur 100°C sudah cukup untuk melunakkan permukaan polimer PP sehingga partikel TiO₂ dapat menempel dengan baik padanya.

Berdasarkan uji EDS, senyawa TiO₂ yang menempel pada permukaan polimer PP sebanyak 36%.

Sintesis katalis TiO₂/PP dengan temperatur 100°C selama 90 menit menghasilkan fotokatalis dengan massa jenis 0.829 g/cm³. Nilai massa jenis katalis yang kurang dari massa jenis larutan MB memungkinkan katalis tetap mengapung di permukaan larutan model limbah. Hal ini meningkatkan peluang foton dari sinar matahari untuk mengeksitasi elektron pada permukaan katalis semikonduktor sehingga semakin besar pula peluang *hole* membentuk radikal bebas yang berperan dalam dekomposisi senyawa organik. Selain itu, proses pemisahan katalis dengan limbah yang sudah dijernihkan menjadi lebih mudah dibandingkan bila katalis dalam bentuk suspensi.

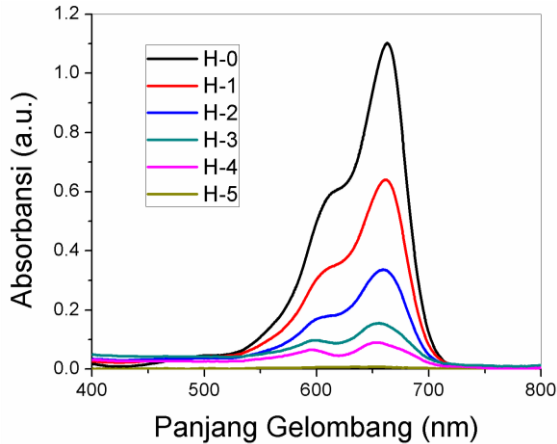


GAMBAR 1. (a) polimer PP sebelum dilapisi TiO₂; (b) polimer PP setelah dilapisi TiO₂ (c) citra sem fotokatalis TiO₂/PP dengan temperatur pelapisan 100°C selama 90 menit.

TABEL 1. Parameter sintesis katalis TiO₂/PP dan pengujian aktivitas fotokatalitik.

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

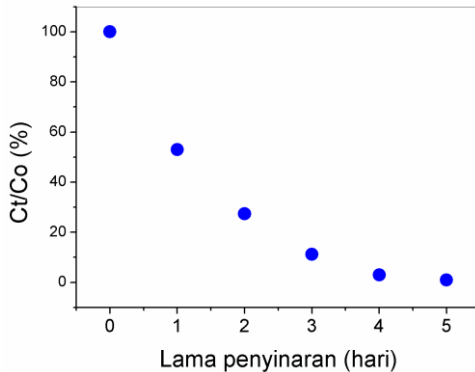
Senyawa organik yang dikenai sinar matahari secara umum akan mengalami degradasi warna dan proses ini akan berlangsung lebih cepat bila dibantu dengan material katalis yang dikenai cahaya. Proses fotokatalitik berlangsung bila foton yang mengenai material fotokatalis mempunyai energi yang lebih besar atau sama dengan celah pita material tersebut sehingga mampu mengeksitasi elektron dan *hole* dapat berperan lebih lanjut menguraikan senyawa organik. Seiring dengan bertambahnya waktu penyinaran, degradasi warna pada larutan MB dari biru menjadi bening menunjukkan semakin berkurangnya konsentrasi senyawa MB dalam model limbah. Berkurangnya konsentrasi ditandai dengan berkurangnya nilai absorbansi larutan MB yang dihasilkan dari pengukuran absorbansi larutan menggunakan spektrofotometer UV-Vis, seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.



GAMBAR 2. Spektrum serapan MB mulai hari ke-0 (H-0) sampai dengan hari ke-5 (H-5) menggunakan katalis yang baru dipakai untuk pertama kalinya.

Berdasarkan hukum Lambert-Beer, diketahui bahwa terdapat hubungan antara absorbansi (serapan) dengan konsentrasi senyawa tersebut dalam larutan. Larutan MB yang tidak diketahui konsentrasinya dapat dihitung berdasarkan kurva kalibrasi larutan MB standar[6]

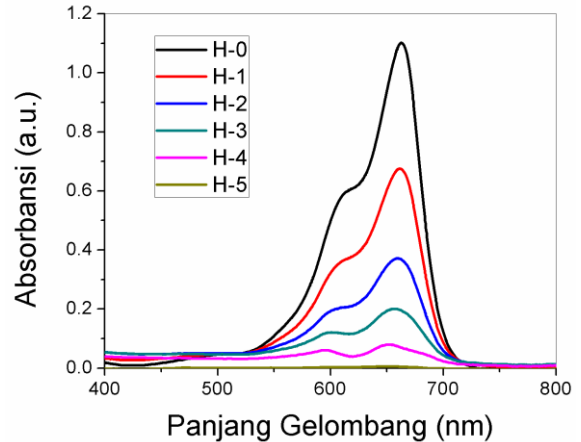
Fotodegradasi MB merupakan kinetika reaksi orde I, dimana logaritma natural dari rasio antara konsentrasi awal dan akhir sebanding dengan lamanya penyinaran. Berdasarkan data eksperimen yang ditunjukkan dalam gambar 3, laju kinetika reaksi dan waktu paruh reaksi berturut-turut sebesar 0.93 jam^{-1} dan 0.75 jam.



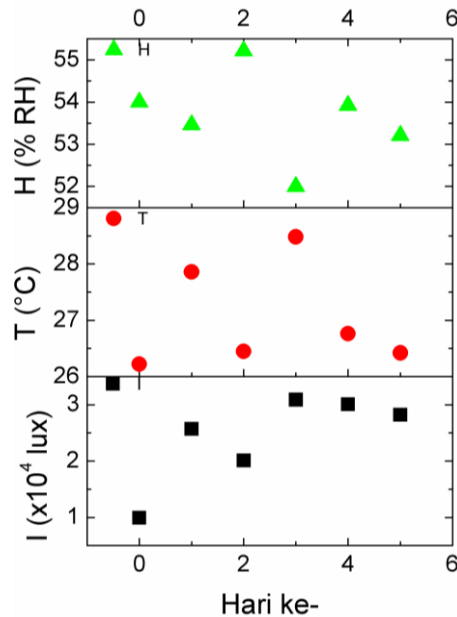
GAMBAR 3. Fotodegradasi MB dengan parameter seperti dalam tabel 1.

Seperti yang pernah dibahas dalam paper sebelumnya, citra SEM fotokatalis TiO_2/PP sebelum dan setelah pengujian fotodegradasi MB tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa partikel TiO_2 menempel dengan baik pada permukaan butiran PP. Hal tersebut memberikan peluang penggunaan fotokatalis secara berulang untuk mendekomposisi senyawa organik dalam air limbah khususnya MB.

Untuk mengetahui kestabilan fotokatalis, dilakukan pengujian fotodegradasi dengan membandingkan aktivitas fotokatalitik material katalis yang digunakan untuk pertama kali, kedua kali, ketiga kali dan keempat kalinya.



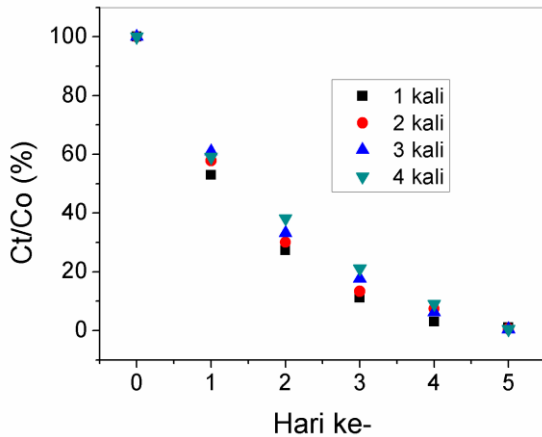
GAMBAR 4. Spektrum serapan MB mulai hari ke-0 (H-0) sampai dengan hari ke-5 (H-5) menggunakan katalis yang dipakai berulang untuk keempat kalinya.



GAMBAR 5. Profil intensitas matahari rata-rata (I), temperatur rata-rata (T) dan kelembaban rata-rata (H) selama pengujian fotodegradasi.

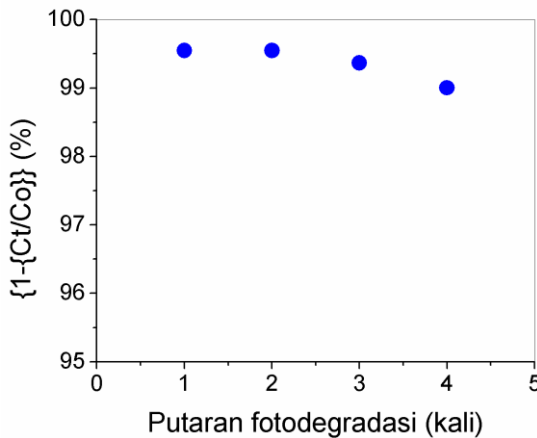
Gambar 4 menunjukkan spektrum serapan larutan MB yang menunjukkan fotodegradasi MB dengan katalis TiO_2/PP yang digunakan untuk keempat kalinya, sedangkan profil intensitas rata-rata matahari (I), temperatur rata-rata (T) dan kelembaban rata-rata (H) pada saat pengujian *reusability* dirangkum dalam Gambar 5. Bila dibandingkan antara Gambar 2 dan Gambar 4, tampak tidak ada perbedaan yang cukup

berarti pada spektrum serapan MB dengan katalis yang dipakai untuk pertama kali dibandingkan dengan spektrum serapan MB dengan katalis yang digunakan untuk keempat kali,. Hal ini menunjukkan bahwa katalis yang menempel dengan baik di permukaan polimer bersifat stabil sehingga masih aktif untuk menguraikan senyawa organik pada air hingga empat kali penggunaan.



GAMBAR 6. Fotodegradasi MB dengan parameter sintesis katalis dan pengujian seperti dalam Tabel 1, menggunakan katalis secara berulang.

Argumen serupa juga diperoleh berdasarkan Gambar 6 dengan membandingkan grafik fotodegradasi MB sebagai fungsi lamanya penyinaran untuk masing-masing katalis yang digunakan pertama kali, kedua kali, ketiga kali dan keempat kalinya.



GAMBAR 7. Fotodegradasi MB pada hari kelima dengan menggunakan katalis secara berulang.

Gambar 7 menunjukkan pengurangan MB pada hari kelima pengujian dengan katalis yang digunakan secara berulang. Pada hari kelima, katalis yang digunakan untuk pertama kali, kedua kali, ketiga kali dan keempat kali mampu mendegradasi MB berturut-turut sebanyak 99.54%, 99.42%, 99.36% dan 99.00%

dari konsentrasi awal 2.00×10^{-5} M. Pengujian stabilitas katalis akan dilanjutkan untuk menyelidiki kemungkinan penggunaan katalis secara berulang lebih dari empat kali.

KESIMPULAN

Material fotokatalis TiO_2/PP telah disintesis menggunakan teknik pengadukan termal dengan temperatur pengadukan 100°C selama 90 menit. Penggunaan fotokatalis hingga empat kali pakai dalam pengujian aktivitas fotokatalitik larutan limbah model metilen biru menunjukkan bahwa katalis TiO_2/PP bersifat *reusable*.

UCAPAN TERIMA KASIH

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

DAFTAR PUSTAKA

- Slamet, R. Syakur dan W. Danamulyo, *Jurnal Makara Teknologi* **7**, 27-32 (2003).
- 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 TiO_2 Nanoparticles-coated Plastic Fibers Using a Sound Vibration and the Use of Coated Fibers as Photocatalytic Materials for Decomposing of Organic Pollutan 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. F. Amalia, H. Aliah, Kharurrijal, M. Abdullah, "Optimasi Jumlah Katalis TiO_2 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.
- H. Aliah, O. Arutanti, Masturi, A. Setiawan, E. Sustini, M. Budiman, M. Abdullah, "Optimization of Coating Temperature of TiO_2 Powder on the Polypropelene 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
- H. Aliah, A. E. Nurasiah, Y. Karlina, O. Arutanti, E. Sustini, M. Budiman, M. Abdullah, "Optimasi Durasi Pelapisan Katalis TiO_2 pada Permukaan Polimer Polipropilena serta Aplikasinya dalam Fotodegradasi Larutan Metilen Biru" dalam *Seminar Nasional Material 2012*, diedit oleh Khairurrijal et al., Prosiding SNM 2012, Bandung (*submitted*)