

## ABSTRAK

# PENGEMBANGAN SISTEM KATALIS BERBASIS TiO<sub>2</sub> DAN PROTOTYPE FOTOREAKTOR UNTUK PENYISIHAN ZAT WARNA DALAM MODEL AIR LIMBAH TEKSTIL

Oleh  
**Sutisna**  
**NIM : 30212001**  
**(Program Studi Doktor Fisika)**

Krisis air bersih sekarang ini merupakan permasalahan yang sangat sering kita dengar dan lihat di sekitar kita. Peningkatan populasi manusia dan pesatnya pertumbuhan industri telah berkontribusi besar pada tercemarnya sumber-sumber air bersih yang merupakan kebutuhan primer pendukung kehidupan. Beberapa teknik konvensional pengolahan air limbah sudah banyak dikembangkan. tetapi secara umum menggunakan teknologi tinggi, biayanya mahal dan beberapa menghasilkan produk sampingan yang tidak ramah lingkungan. Fotokatalisis heterogen dengan menggunakan TiO<sub>2</sub> sebagai fotokatalis adalah sebuah proses oksidasi lanjut (*advanced oxidation processes* (AOPs)) yang sangat menjanjikan untuk mineralisasi senyawa organik di bawah radiasi cahaya. Tiga permasalahan dalam pengaplikasian secara langsung material ini dalam air limbah adalah: TiO<sub>2</sub> tenggelam dalam air, kerumitan dalam pemisahan kembali material katalis setelah proses pengolahan berakhir, serta kemungkinan penggumpalan serbuk TiO<sub>2</sub> yang disuspensi dalam air limbah. Oleh karena itu sebuah modifikasi telah dilakukan dengan cara melapiskan katalis TiO<sub>2</sub> pada permukaan polimer ringan dan transparan berbahan dasar polipropilena (PP) dengan menggunakan metode kombinasi elektrostatik dan pemanasan.

Proses pelapisan diawali dengan memberikan muatan elektrostatik pada polimer sehingga serbuk TiO<sub>2</sub> dapat menempel dan selanjutnya dipanaskan pada temperatur 100 °C untuk meningkatkan ikatannya. Variasi massa TiO<sub>2</sub> dan waktu pemanasan telah dilakukan dan diperoleh bahwa kombinasi 2 g massa TiO<sub>2</sub> untuk setiap 100 g massa butiran PP dan waktu pemanasan 75 menit merupakan parameter-parameter optimum dalam proses pelapisan. Sebuah teori sederhana juga diusulkan untuk menjelaskan pengaruh waktu pemanasan pada efektivitas pelapisan dan pembatasan jumlah TiO<sub>2</sub> yang dapat menempel di permukaan butiran PP, yang menunjukkan kesesuaian yang sangat baik antara hasil *fitting* dengan data eksperimen.

Proses fotokatalitik memiliki potensi aplikasi yang sangat besar dalam pengolahan air limbah. Bagaimanapun implementasi dari proses fotokatalitik pada skala besar mensyaratkan penggunaan sebuah reaktor, sebuah devais yang membawa foton, fotokatalis dan reaktan dalam sebuah kontak. Sebuah prototipe fotokatalitik

reaktor panel datar (fotoreaktor PD) yang distimulasi sinar matahari telah dirancang bangun untuk pengolahan zat warna Metilen Biru (MB). Fotoreaktor tersebut terdiri dari panel-panel reaktor dari kaca berongga yang diisi dengan butiran PP berlapis titania. Panel-panel reaktor disusun secara miring dan berundak dan air limbah disirkulasi melalui panel-panel tersebut.

Fotoreaktor tersebut telah diimplementasikan untuk mendegradasi 30 L larutan MB dengan konsentrasi mula-mula 25 mg L<sup>-1</sup>. Sebagai hasilnya, sebanyak lebih dari 98% MB berhasil didegradasi setelah 48 jam di bawah radiasi sinar matahari. Kemampuan fotoreaktor juga telah berhasil ditingkatkan dengan menambah jumlah panel reaktor menjadi empat panel, sehingga untuk mendegradasi MB dengan kondisi yang sama hanya dibutuhkan waktu 10 jam radiasi. Dengan kata lain, efisiensi penyisihan MB fotoreaktor empat panel meningkat hampir 5 kali lipat dibanding fotoreaktor satu panel. Dalam rentang waktu tersebut, fotoreaktor juga telah mampu menurunkan kadar *biological oxygen demand* (BOD) dan *chemical oxygen demand* (COD) dari larutan uji berturut-turut sebanyak 82% dan 80%. Pengaruh dari parameter-parameter operasional seperti konsentrasi awal larutan dan volume larutan juga telah ditinjau dalam eksperimen ini.

Untuk mengevaluasi reusabilitas fotoreaktor, fotodegradasi dari 30 L MB dengan konsentrasi awal 25 mg L<sup>-1</sup> telah diulang empat kali dengan durasi waktu yang sama menggunakan empat panel reaktor. Hasilnya menunjukkan bahwa untuk empat siklus eksperimen tersebut efisiensi fotoreaktor hanya berkurang sekitar 1,5% saja. Stabilitas dari performa fotoreaktor untuk penggunaan berulang juga dikuatkan dengan nilai standard deviasi dari efisiensi fotoreaktor untuk empat siklus eksperimen yaitu 0,64%, yang mengindikasikan bahwa efisiensi fotoreaktor cenderung konstan.

Fotoreaktor PD yang dikembangkan dalam penelitian ini memiliki potensi yang sangat besar untuk digunakan dalam pengolahan air limbah organik skala besar di Indonesia, negara dengan intensitas rata-rata cahaya matahari yang cukup tinggi sepanjang tahun. Dibandingkan dengan fotoreaktor sejenis yang telah dilaporkan oleh beberapa peneliti sebelumnya, fotoreaktor PD jauh lebih sederhana dalam instalasi dan pelapisan katalis, lebih hemat biaya, dan mudah untuk regenerasi katalis. Fotoreaktor ini sangat potensial untuk dikembangkan menjadi pengolah limbah skala komersil.

Kata kunci: Fotoreaktor, *scale-up*, efisiensi fotoreaktor, fotokatalis TiO<sub>2</sub>, PP, fotodegradasi, metilen biru, metode pelapisan, kombinasi elektrostatik dan pemanasan, reusabilitas.

## **ABSTRACT**

### **DEVELOPMENT OF TiO<sub>2</sub>-BASED CATALYST SYSTEM AND PROTOTYPE OF PHOTOREAKTOR FOR DYE REMOVAL IN THE TEXTILE WASTEWATER MODEL**

**By**  
**Sutisna**  
**NIM : 30212001**  
**(Doctoral Program in Physics)**

Recently, clean water crisis is a real problem around us. The increase in human population and the rapid growth of the industries have contributed greatly to the pollution of clean water sources which are the primary needs of life support. Several conventional wastewater treatment techniques have been widely developed. But in general they use high technology, the expensive cost, and produce by-products that are not environmentally friendly. Heterogeneous photocatalysis using TiO<sub>2</sub> as a photocatalyst is an advanced oxidation processes (AOPs) that is very promising for the mineralization of toxic compounds and dyes under visible and/or UV irradiations. However, there are some drawbacks of using TiO<sub>2</sub> powder directly for photocatalytic processes: TiO<sub>2</sub> is immersed in water, the need for post-treatment to remove the TiO<sub>2</sub> particles from the treated water, which requires energy and time, and the agglomeration probability of TiO<sub>2</sub> powder in water when it is suspended. Therefore, a modification has been carried out by superimposing the TiO<sub>2</sub> catalyst on the surface of light and transparent polypropylene (PP) using combined electrostatic and heating methods.

The coating process was initiated by generating electrostatic charges on PP so that the TiO<sub>2</sub> particles can be attached. Nanoparticle binding has been improved by heating and softening the granule surface at a temperature of 100 °C. Mass variations of TiO<sub>2</sub> and heating time have been performed and obtained that the combination 2 g of TiO<sub>2</sub> for every 100 g of PP granules and heating time of 75 min are the optimal parameters in the coating process. The simple theories have been also proposed to explain effect of heating time on coating effectiveness and limitation number of TiO<sub>2</sub> particles that can be coated on the granule surface, showing very good agreement between the fitting results and the experimental data.

The photocatalytic process has enormous potential applications in wastewater treatment. However the implementation of large-scale photocatalytic processes requires the use of a reactor, a device that carries photons, photocatalysts and reactants in a contact. A prototype of flat panel photocatalytic reactor (FP photoreactor) that is stimulated by sunlight has been designed for the processing of the MB dye. The photoreactor consists of reactor panels of hollow glass filled

with TiO<sub>2</sub>-coated granules. The reactor panels are arranged tilted and terraced and the wastewater is circulated through the panels.

The photoreactor was tested for treating 30 L of Methylene Blue (MB) solution with an initial concentration of 25 mg L<sup>-1</sup>. We observed that the reactor was able to degrade more than 98% of the MB in the solution after 48 h of solar illumination. The performance of the FP photoreactor was also improved by arranging several reactor panels in series. Using four panels, we observed that the complete decomposition of the same MB solution can be achieved within 10 h. The photoreactor has also been able to reduce the levels of biological oxygen demand (BOD) and chemical oxygen demand (COD) levels of the test solution by 82% and 80% respectively. The proposed FP photoreactor is a very promising alternative for use in decomposing recalcitrant organic pollutants in wastewater. The effects of operational parameters such as the initial concentration and the volume of the solution have also been evaluated in this experiment.

To evaluate the reusability performance of the photoreactor, the photodegradation of a concentration of 25 mg L<sup>-1</sup> (30 L) MB was repeated for as many as four cycles with the same duration using the four-panel photoreactor. During the four experimental cycles, the efficiency of the FP photoreactor to degrade MB was only reduced by approximately 1,5%. The stability of the photoreactor performance for repetitive use is also confirmed by the standard deviation of the efficiency for the photoreactor for a total of four experimental cycles is equal to 0.64%, indicating that the efficiency of the FP photoreactor remains almost constant.

The FP photoreactor developed in this study have enormous potential to be applied in the large scale wastewater treatment in Indonesia, country with high sunlight intensity throughout the year. Comparing to similar reactor prototypes reported by other authors, the FP photoreactor is much simple in installation and immobilization of catalyst, better in cost savings, and easy in catalyst regeneration. This proposed photoreactor is potential for development of commercial scale wastewater treatments.

**Keywords:** Photoreactor, scale-up, photoreactor efficiency, TiO<sub>2</sub> photocatalyst, PP, photodegradation, methylene blue, coating method, combined electrostatic and heating methods, reusability.