

## ABSTRAK

### REKAYASA PENDOPINGAN LOGAM (Cu, Zn) DAN NON-LOGAM (B, N) PADA TiO<sub>2</sub> UNTUK APLIKASI FOTODEGRADASI METHYL ORANGE

Titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) merupakan fotokatalis yang banyak digunakan untuk degradasi zat warna organik, namun penerapannya terbatas akibat *band gap* yang lebar (sekitar 3,2 eV) sehingga hanya aktif pada sinar ultraviolet. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh *co-doping* non-logam (B, N) serta penambahan logam Cu dan Zn, baik tunggal maupun bersamaan, terhadap struktur kristal dan aktivitas fotokatalitik TiO<sub>2</sub> dalam mendegradasi *methyl orange*. Lima sampel (TiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>-B,N, TiO<sub>2</sub>-Cu,B,N, TiO<sub>2</sub>-Zn,B,N, TiO<sub>2</sub>-Cu,Zn,B,N) disintesis melalui metode *one-step solid-state* dengan kalsinasi 500°C, kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD, Raman, FTIR, UV-Vis DRS, dan PL. Hasil XRD menunjukkan seluruh sampel mempertahankan fase anatase, dengan ukuran kristalit menurun dari 21,95 nm (TiO<sub>2</sub>) menjadi 19,12; 16,04; 17,31; dan 14,93 nm, serta kristalinitas menurun dari 75,48% menjadi 66,73% pada TiO<sub>2</sub>-Cu,Zn,B,N. Karakterisasi Raman menunjukkan pergeseran mode E<sub>g</sub>(1) dari 143,69 cm<sup>-1</sup> menjadi 147,57 cm<sup>-1</sup> disertai pelebaran FWHM dari 10,00 menjadi 26,68 cm<sup>-1</sup>, sedangkan FTIR menunjukkan penurunan transmitansi pada daerah 750-1100 cm<sup>-1</sup> dari 59,46% menjadi 40,32% tanpa pita serapan baru yang spesifik terhadap dopan. *Band gap* menurun bertahap dari 3,23 eV menjadi 3,02 eV (TiO<sub>2</sub>-B,N); 2,91 eV (TiO<sub>2</sub>-Zn,B,N); 2,74 eV (TiO<sub>2</sub>-Cu,B,N); dan 2,59 eV (TiO<sub>2</sub>-Cu,Zn,B,N), disertai penurunan intensitas emisi PL hingga 80,75% yang mengindikasikan tertekannya rekombinasi elektron-hole. Tanpa H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>-Zn,B,N menunjukkan aktivitas tertinggi (28,48%; qt = 2,8479 mg/g), diikuti TiO<sub>2</sub>-Cu,B,N (27,98%; qt = 2,7983 mg/g), TiO<sub>2</sub>-B,N (21,54%; qt = 2,5537 mg/g), TiO<sub>2</sub> (15,75%; qt = 1,5752 mg/g), sedangkan TiO<sub>2</sub>-Cu,Zn,B,N terendah (12,12%; qt = 1,2116 mg/g). Dengan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, aktivitas tertinggi diperoleh TiO<sub>2</sub>-Cu,B,N (97,40%; qt = 10,7145 mg/g), diikuti TiO<sub>2</sub>-Zn,B,N (91,95%; qt = 9,6055 mg/g), TiO<sub>2</sub>-Cu,Zn,B,N (90,79%; qt = 9,9873 mg/g), TiO<sub>2</sub>-B,N (81,37%; qt = 8,9509 mg/g), dan TiO<sub>2</sub> (77,40%; qt = 8,5145 mg/g). Hasil ini menunjukkan bahwa keunggulan elektronik akibat *co-doping* baru optimal dimanfaatkan dengan dukungan oksidan eksternal H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Kata-kata kunci: TiO<sub>2</sub>; *co-doping*; fotokatalitik; *methyl orange*; *band gap*.

## ABSTRACT

### **MODIFICATION OF METALS (Cu, Zn) AND NON-METALS (B, N) IN TiO<sub>2</sub> FOR THE PHOTODEGRADATION OF METHYL ORANGE**

*Titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) is a widely used photocatalyst for the degradation of organic dyes, but its application is limited by its wide band gap (approximately 3.2 eV), restricting activity to ultraviolet light only. This study aims to evaluate the effect of non-metal co-doping (B, N) and the addition of Cu and Zn metals, both singly and simultaneously, on the crystal structure and photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub> in degrading methyl orange. Five samples (TiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>-B,N, TiO<sub>2</sub>-Cu,B,N, TiO<sub>2</sub>-Zn,B,N, TiO<sub>2</sub>-Cu,Zn,B,N) were synthesized via a one-step solid-state method with calcination at 500°C, then characterized using XRD, Raman, FTIR, UV-Vis DRS, and PL. XRD results showed that all samples retained the anatase phase, with crystallite size decreasing from 21.95 nm (TiO<sub>2</sub>) to 19.12, 16.04, 17.31, and 14.93 nm, and crystallinity decreasing from 75.48% to 66.73% for TiO<sub>2</sub>-Cu,Zn,B,N. Raman characterization showed a shift of the E<sub>g</sub>(1) mode from 143.69 cm<sup>-1</sup> to 147.57 cm<sup>-1</sup> accompanied by FWHM broadening from 10.00 to 26.68 cm<sup>-1</sup>, while FTIR showed decreased transmittance in the 750-1100 cm<sup>-1</sup> region from 59.46% to 40.32% without new absorption bands specific to the dopants. Band gap decreased progressively from 3.23 eV to 3.02 eV (TiO<sub>2</sub>-B,N); 2.91 eV (TiO<sub>2</sub>-Zn,B,N); 2.74 eV (TiO<sub>2</sub>-Cu,B,N); and 2.59 eV (TiO<sub>2</sub>-Cu,Zn,B,N), accompanied by a decrease in PL emission intensity of up to 80.75%, indicating suppressed electron-hole recombination. Without H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>-Zn,B,N exhibited the highest activity (28.48%; qt = 2.8479 mg/g), followed by TiO<sub>2</sub>-Cu,B,N (27.98%; qt = 2.7983 mg/g), TiO<sub>2</sub>-B,N (21.54%; qt = 2.5537 mg/g), TiO<sub>2</sub> (15.75%; qt = 1.5752 mg/g), while TiO<sub>2</sub>-Cu,Zn,B,N was the lowest (12.12%; qt = 1.2116 mg/g). With H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, the highest activity was obtained for TiO<sub>2</sub>-Cu,B,N (97.40%; qt = 10.7145 mg/g), followed by TiO<sub>2</sub>-Zn,B,N (91.95%; qt = 9.6055 mg/g), TiO<sub>2</sub>-Cu,Zn,B,N (90.79%; qt = 9.9873 mg/g), TiO<sub>2</sub>-B,N (81.37%; qt = 8.9509 mg/g), and TiO<sub>2</sub> (77.40%; qt = 8.5145 mg/g). These results indicate that the electronic advantages gained from co-doping are only optimally utilized with the support of an external oxidant, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.*

**Keywords:** TiO<sub>2</sub>; co-doping; photocatalytic; methyl orange; band gap.