

EFEK PENGGUNAAN ZnO SEBAGAI FOTOKATALISIS YANG DIIMOBILISASI PADA PLAT KACA TERHADAP LARUTAN ZAT WARNA CIBACRON-RED

Nurhasni¹, Winarti Andayani² & Zulfakar Tribuana Said¹

¹ Program Studi Kimia FST UIN Syarif Hidayatullah Jakarta

² BATAN Pasar Jum'at, Jakarta Selatan

hasni_1806@yahoo.com

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang efek penggunaan ZnO sebagai fotokatalisis yang diimobilisasi pada plat kaca terhadap larutan zat warna *cibacron-red*. Reagen ZnO dibuat dari larutan $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COOH})_2$ yang dilapisi pada permukaan plat kaca dengan metode perendaman. Proses fotokatalisis dilakukan selama 6 jam dengan variasi waktu 0,5, 1, 2, 3, 4, dan 6 jam. Berdasarkan hasil pengukuran spektrofotometer UV-Vis pada larutan zat warna *Cibacron-Red* tersebut memiliki 3 panjang gelombang maksimum yaitu, 289 nm, 515 nm, dan 545 nm. Penurunan absorbansi larutan *cibacron-red* karena pengaruh iradiasi sinar UV terhadap katalis ZnO sebesar 19,57 – 22,51 %, sedangkan tanpa iradiasi sinar UV tidak ada penurunan tingkat absorbansi yang berarti.

Kata kunci: Seng oksida, fotokatalitik, *Cibacron-Red*, Spektrofotometer UV-Vis

Abstract

Research about effects of usefull zinc oxide as photocatalyst which immobilized on glass plate *cibacron-red* colour aqueous had been done. Zinc oxide reagent was made from zinc acetate aqueous that coated on surface of glass plate by using batch method. Photocatalitysts process were done during 6 hours by variation time 0.5, 1, 2, 3, 4, and 6 hour. Based on the results of UV-VIS spectrophotometry, *cibacron-red* colour aqueous had a maximum waves on 289 nm, 515 nm, 545 nm. Absorption reduced of *cibacron-red* colour aqueous because of effect irradiation UV light on zinc oxide catalyst was 19,57 – 22,51%, however without irradiation UV light there was no absorption reduced significantly.

Keywords: zink oxide, photocatalyst, *Cibacron-Red*, UV-Vis Spectrofotometry

1. PENDAHULUAN

Industri tekstil di Indonesia telah berkembang semakin pesat dan mengakibatkan kebutuhan akan zat warna semakin bertambah. Zat warna yang sering digunakan merupakan golongan azo yang mempunyai sifat *non-biodegradable*. Zat warna ini dapat menyebabkan kanker apabila dibuang sebagai limbah dan mengurangi estetika lingkungan perairan terutama pada badan air.

Limbah cair merupakan masalah utama dalam pengendalian dampak lingkungan industri tekstil karena memberikan dampak yang paling luas, disebabkan oleh karakteristik fisik maupun karakteristik kimianya yang memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Untuk menjamin terpeliharanya sumber daya air dari pembuangan limbah industri, pemerintah dalam hal ini Menteri

Negara Kementerian Lingkungan Hidup telah menetapkan baku mutu limbah cair bagi kegiatan yang sudah beroperasi yang dituangkan dalam Keputusannya Nomor: Kep-03/KLH/ II/1991. Oleh karena itu, limbah cair harus diolah dan pengolahan limbah tersebut memerlukan biaya investasi dan biaya operasi yang tidak sedikit. Pengolahan limbah cair harus dilakukan secara cermat dan terpadu di dalam proses produksi dan setelah proses produksi agar pengendalian berlangsung dengan efektif dan efisien (Anonim, 2004).

Langkah-langkah pengelolaan yang dilaksanakan secara terpadu dapat dimulai dengan upaya meminimalisir limbah (*waste minimization*), pengolahan limbah (*waste treatment*), hingga pembuangan limbah (*disposal*). Pengelolaan limbah cair dalam proses produksi dimaksudkan untuk

meminimalkan volume, konsentrasi dan toksisitas limbah yang dihasilkan. Aplikasi fotokatalis merupakan salah satu alternatif yang cukup baik dalam menanggulangi limbah cair tersebut.

Terapan fotokatalis ini dilakukan untuk mengurangi konsentrasi limbah cair. TiO_2 sering digunakan sebagai fotokatalis, untuk menguraikan senyawa organik seperti pentaklorofenol (Andayani, 2001), *Cibacron Yellow* (Widyayanti, 2004), dan *powder* untuk menguraikan 2-klorofenol (Sulastri, 2005). Radiasi UV dengan cahaya yang memiliki energi lebih rendah daripada celah pita (*band gap*) pada katalis semikonduktor TiO_2 akan menghasilkan daya redoks kuat yang mampu mempromosikan berbagai reaksi kimia untuk mendegradasi zat warna (Jarnuzi, 2001). Dalam penelitian ini digunakan jenis katalis yang berbeda yaitu ZnO yang diimobilisasi pada plat kaca untuk mendegradasi zat warna *cibacron-red*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ZnO terhadap larutan zat warna *cibacron-red* yang diradiasi dengan sinar UV dan mengetahui tingkat keefektifan penggunaan katalis ZnO sebagai pereduksi limbah cair *cibacron-red*.

2. METODE PENELITIAN

Bahan dan alat

Peralatan yang digunakan selama penelitian antara lain reaktor fotokatalis dari bahan gelas pireks dengan lampu UV (*black light*) 10 watt, Spektrofotometer UV-Vis, *magnetic stirrer*, plat kaca berukuran $8 \times 8 \text{ cm}^2$, oven ($0 - 220^\circ\text{C}$), neraca analitik, pH meter, wadah pireks dan peralatan gelas lainnya.

Bahan-bahan yang digunakan antara lain zat warna *cibacron-red* G-E, $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, etanol (Merk), aquades, H_2SO_4 , aseton dan H_3PO_4 .

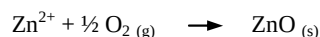
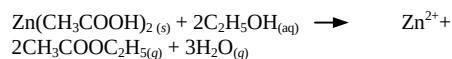
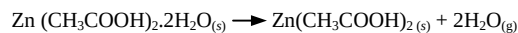
Pembuatan Larutan

Reagen ZnO

Reagen ZnO dibuat dengan cara 2 (dua) tahap:

1. Mengkalsinasikan $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 25 g pada suhu 110°C selama 2 jam untuk menghilangkan kandungan hidratnya dan simpan dalam desikator.
2. Diambil 10 g dan dilarutkan dalam etanol sebanyak 100 mL sehingga terbentuk $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COOH})_2$ kemudian dikalsinasi

kembali untuk menghilangkan kandungan asetatnya. Radikal Zn^{2+} yang terbentuk dalam proses kalsinasi akan menangkap oksigen sehingga dihasilkan senyawa ZnO berbentuk serbuk putih. Selengkapnya dapat dilihat pada reaksi berikut:



Cibacron-Red

10 mg zat warna *cibacron-red* dilarutkan dengan 1 liter aquades dalam labu ukur sehingga didapatkan konsentrasi sebesar 10 ppm. Analisa dengan pH meter kemudian optimalkan larutan pada pH 7 dengan cara menambahkan asam atau basa sesuai kebutuhannya. Dipisahkan sebanyak 25 mL sebagai kontrol, lalu disimpan dalam botol kaca yang gelap (hindari kontak sinar matahari langsung).

Preparasi plat kaca

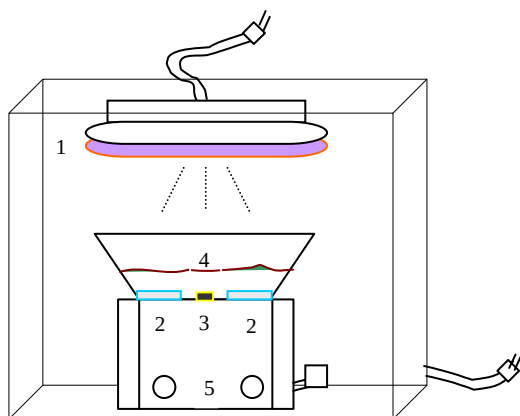
Plat kaca berbentuk bujur sangkar disiapkan dengan ukuran $10 \times 10 \text{ cm}$ sebanyak 4 buah. Sebelum plat kaca digunakan, dibersihkan terlebih dahulu dengan cara direndam dalam larutan H_3PO_4 lalu dibilas dengan aquades, kemudian dibilas lagi dengan aseton agar lemak, kotoran dan bakteri dapat dihilangkan. Keringkan dalam oven pada suhu 45°C selama 1 jam, setelah kering kaca ditimbang.

Immobilisasi ZnO pada plat kaca

Katalis ZnO diimobilisasikan pada plat kaca dengan metode perendaman. Reagen ZnO dituang ke dalam suatu wadah pireks dimana plat kaca direndam, diratakan dengan cara mengoyang-goyang selama 3 menit. Setelah itu diangkat dan biarkan kering dalam suhu ruangan, kemudian dimasukkan dalam oven pada suhu 210°C selama 10 menit. Setelah selesai dioven, plat didinginkan dengan kipas angin selama ± 5 menit lalu dibersihkan dengan kuas. Proses pelapisan ini dilakukan sebanyak 25 kali, hingga diperoleh lapisan tipis putih yang merata pada permukaan plat kaca. Setelah selesai ditimbang, lalu bandingkan dengan berat sebelumnya.

Reaktor Fotokatalitik

Disiapkan 2 buah kotak lemari kayu dengan ukuran 45 x 45 x 45 cm³ yang sudah dipasang dua buah lampu UV A (*black light*). Masing-masing kotak berisi reaktor yang dibuat dari bahan gelas pireks berbentuk persegi panjang berukuran 30 x 10 x 15 cm³ dengan penyangga berupa alat pemutar *magnetic stirer*. Sebanyak 2 buah katalis ZnO plat kaca diletakkan di wadah reaktor dengan posisi berdampingan dan diantaranya ditaruh batang pengaduk magnetik. Selengkapnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 1. Reaktor Fotokatalitik

Keterangan :

1. Lampu UV
2. Plat kaca katalis ZnO
3. *Magnetic stirer*
4. Larutan *cibacron-red*

Proses fotokatalitik ini dibuat dengan kondisi yang optimal agar pengaruh lingkungan dapat dikontrol antara lain; iradiasi dilakukan dalam ruangan tertutup untuk menghindari adanya sinar lain masuk selain sinar UV, larutan uji *cibacron-red* berada pada pH 7 sehingga uji menggambarkan tidak adanya berpengaruh pada variabel lingkungan berupa senyawa lain yang bisa mengubah pH, katalis ZnO direndam sepenuhnya dengan larutan *cibacron-red* agar semua pusat aktif katalis ZnO pada permukaan plat dapat bereaksi dan *magnetic stirer* untuk

homogenisasi hasil reaksi fotokatalitik ZnO terhadap *cibacron-red*.

Proses Iradiasi Dengan Lampu UV

Dituang sebanyak 150 mL larutan *cibacron-red* ke dalam reaktor fotokatalitik lalu dilakukan proses iradiasi dengan menyalakan sinar UV dan *magnetic stirer* dalam kondisi tertutup. Proses fotokatalisis dilakukan selama 6 jam dengan variasi pengambilan sampel pada saat 0,5, 1, 2, 4 dan 6 jam. Di setiap jeda waktu tersebut, sampel diambil sebanyak 5 mL dan disimpan dalam botol kaca kecil gelap yang diberi label. Volume sebanyak 5 mL dari larutan sampel yang telah diambil ini, digantikan dengan aquades sebanyak volume yang sama yaitu 5 mL sehingga volume larutan dalam reaktor tetap. Setelah selesai masing-masing hasil iradiasi diukur dengan spektrofotometer UV-Vis, dibandingkan dengan blanko sebelum iradiasi yang telah disiapkan sebelumnya.

Penggunaan Ulang Katalis ZnO

Setelah katalis ZnO selesai digunakan, masing-masing plat kaca tersebut dicuci dengan aquades lalu diaktivasi dengan cara memanaskannya pada suhu 210°C selama 10 menit di dalam oven selama 1 jam. Setelah itu katalis ZnO digunakan kembali untuk proses fotokatalisis pada larutan *cibacron-red* dengan perlakuan yang sama dan dibandingkan hasilnya dengan percobaan sebelumnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

ZnO yang Terimobilisasi pada Plat Kaca

Identifikasi secara sederhana pada ZnO yang terimobilisasi pada plat kaca dapat dilihat dengan adanya lapisan putih pada permukaannya. Banyaknya katalis ZnO yang terimobilisasi diperhitungkan melalui selisih nilai berat plat kaca sebelum (W_0) dan sesudah (W_1) ditimbang. Hal tersebut ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai berat katalis ZnO yang terimobilisasi pada plat kaca

Keterangan	Berat Plat Kaca (g)			
	A	B	C	D
Berat sebelum diimobilisasi	60,5034	74,82480	65,3815	76,18220
Berat sesudah diimobilisasi	60,5042	74,82576	65,3805	76,18273
Total berat katalis ZnO	0,00080	0,00096	0,00100	0,00053
Total berat dalam reaktor Untuk Percobaan	0,00176 g Tanpa iradiasi		0,00153 g Dengan iradiasi	

Spektrum Serapan Larutan *Cibacron- Red* dalam Air

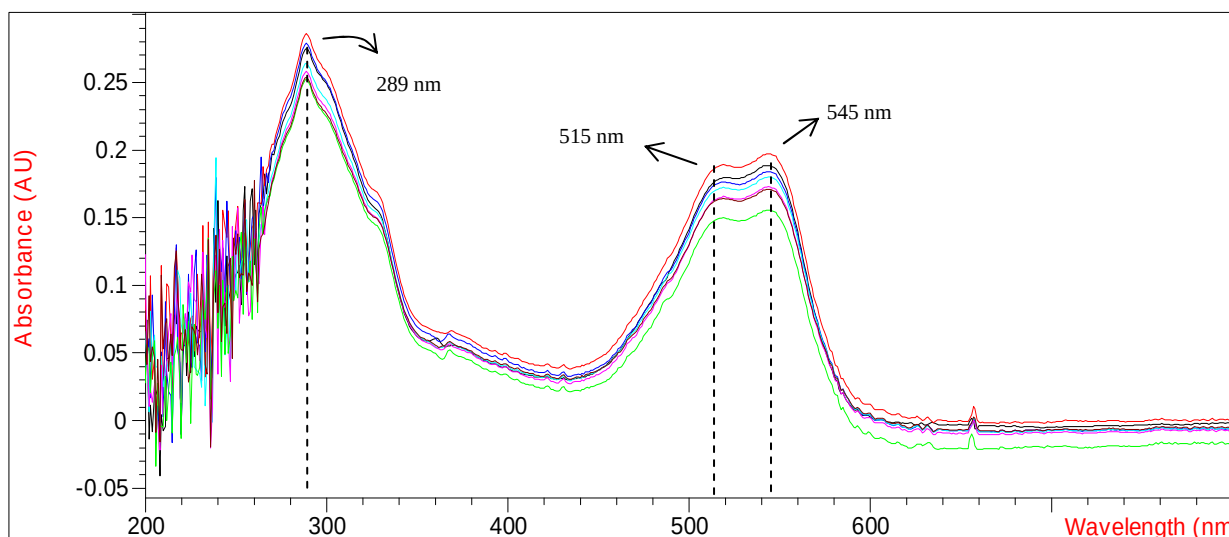
Pada percobaan yang dilakukan, hasil pengukuran dengan spektrofotometer UV-Vis larutan kontrol *cibacron-red* menunjukkan, bahwa larutan tersebut mempunyai spektrum dengan 3 (tiga) buah puncak. Pada sinar UV terlihat serapan terjadi pada panjang gelombang 289 nm, sedangkan pada sinar UV-Vis terlihat serapan terjadi pada panjang gelombang 515 dan 545 nm.

Serapan maksimum pada panjang gelombang 289 nm, berkaitan dengan transisi elektronik $\pi \rightarrow \pi^*$ dari ikatan rangkap konjugasi pada cincin aromatis. Jika dilihat pada referensi spektrofotometer UV-Vis, maka senyawa yang mendekati dengan spektrum serapannya adalah senyawa benzena yang tersubstitusi dengan ion fenoksi ($C_6H_5O^-$, $\lambda = 289$). Panjang gelombang 515 dan 545 nm merupakan serapan dari ikatan rangkap

nitrogen - $N=N$ - yang merupakan khas senyawa azo pada struktur *cibacron-red* (Renita, 2004).

Pengaruh ZnO terhadap Larutan *Cibacron-Red* tanpa Iradiasi dengan Lampu UV

Percobaan dilakukan untuk memperlihatkan pengaruh yang terjadi pada penurunan absorbansi larutan *cibacron-red*. Selama perendaman, ZnO yang tidak diberi sinar UV tidak akan mampu membuat ion radikal OH^* sehingga penurunan absorbansi dari larutan *cibacron-red* tidak begitu memberi nilai yang berarti. Pada gambar 2, dapat dilihat tidak adanya penurunan intensitas serapan baik pada 289 nm, 515 nm maupun 545 nm setelah 0,5 – 1 jam, hal ini disebabkan karena tidak adanya spesi molekul yang bereaksi antara katalis dengan zat warna *cibacron-red* di dalam air.



Gambar 2. Grafik pengaruh ZnO terhadap larutan *cibacron-red* tanpa iradiasi dengan lampu UV

Sesudah perendaman selama 2 jam, penurunan absorbansi baru terlihat dan berlangsung dalam range yang sangat kecil. Tabel 2, menunjukan adanya pengaruh pada absorbansi larutan *cibacron-red* yang intensitasnya sedikit menurun sekitar 16,3 hingga 17,5 % pada waktu 6 jam perendaman. Hal ini diduga kuat terjadi bukan karena degradasi larutan melainkan disebabkan karena adanya penyerapan molekul *cibacron-red* pada permukaan katalis ZnO plat kaca namun tidak aktif untuk bereaksi sehingga absorbansi

kembali naik pada waktu perendaman selanjutnya.

Tabel 2. Spesifikasi nilai absorbansi dari gambar 2

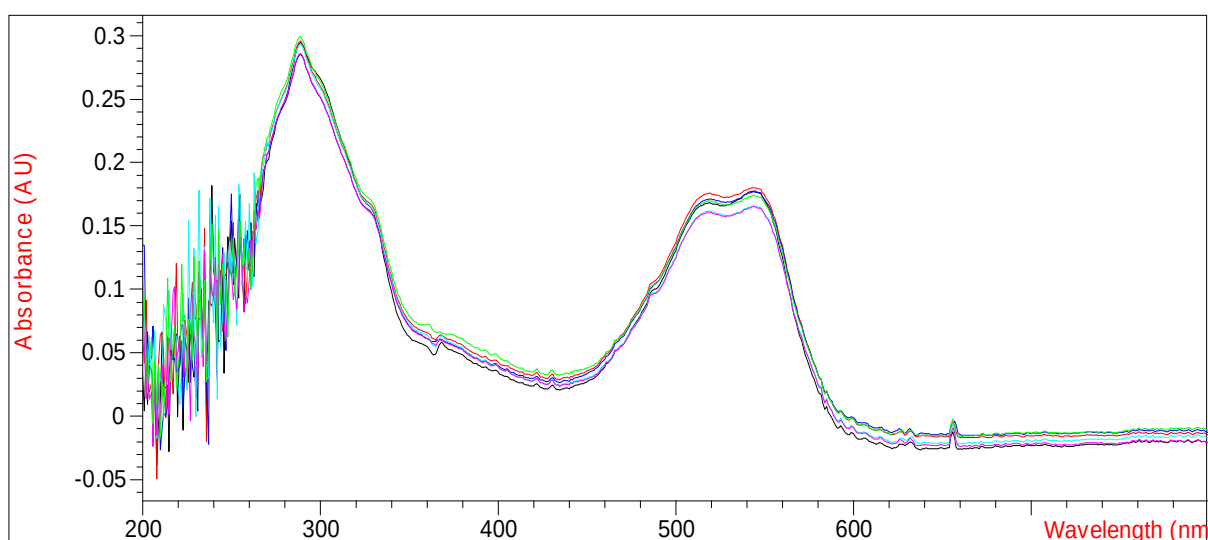
Waktu Perendaman (Jam)	Nilai Absorbansi		
	289 nm	515 nm	545 nm
0	0,27515	0,17719	0,18845
0,5	0,27864	0,18699	0,19697
1	0,28577	0,17451	0,18373
2	0,26419	0,17009	0,18006
4	0,25809	0,16345	0,17268
6	0,25361	0,14830	0,15543
7	0,25225	0,16260	0,17081
Selisih absorbansi setelah perendaman	0,02290	0,01459	0,01764

Tabel 3. Persentase degradasi positif berdasarkan penurunan absorbansi

Waktu iradiasi (Jam)	Persen Degradasi (%)		
	289 nm	515 nm	545 nm
0,5	-	-	-
1	-	-	-
2	3,9	4,0	4,4
4	6,2	7,7	8,3
6	7,8	16,3	17,5
7	8,3	8,2	9,3

Penggunaan Ulang ZnO terhadap Larutan *Cibacron-Red* tanpa Iradiasi dengan Lampu UV

Pada percobaan sebelumnya telah dilakukan perendaman katalis ZnO tanpa iradiasi sinar UV. Katalis ZnO dapat diaktifasi kembali dengan cara memanaskannya pada suhu 210°C. Gambar 3, menunjukan serapan zat warna *cibacron-red* pada perendaman kedua kali. Absorbansi dari larutan *cibacron-red* tidak mengalami perubahan penurunan yang berarti baik pada panjang gelombang 289, 515 dan 545 nm hanya berkisar 0,35 - 6,94 %.



Gambar 3. Grafik penggunaan ulang ZnO terhadap larutan *cibacron-red* tanpa iradiasi dengan lampu UV

Dalam hal ini ZnO tidak optimal bekerja sebagai katalis semikonduktor karena tidak mempunyai pengaruh yang berarti bagi penurunan absorbansi larutan *cibacron-red* yang terjadi akibat tidak ada reaksi yang terjadi antara larutan uji dengan ZnO. Selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Spesifikasi nilai absorbansi dari gambar 8

Waktu iradiasi (Jam)	Nilai Absorbansi		
	289 nm	515 nm	545 nm
0	0,29455	0,16616	0,17731
0,5	0,29543	0,17346	0,18010
1	0,28505	0,16921	0,17668
2	0,29319	0,15959	0,16559
4	0,28578	0,15877	0,16499
6	0,29896	0,16751	0,17373
Selisih absorbansi setelah perendaman	0,00441	0,00135	0,00358

Tabel 5. Persentase degradasi positif berdasarkan penurunan absorbansi

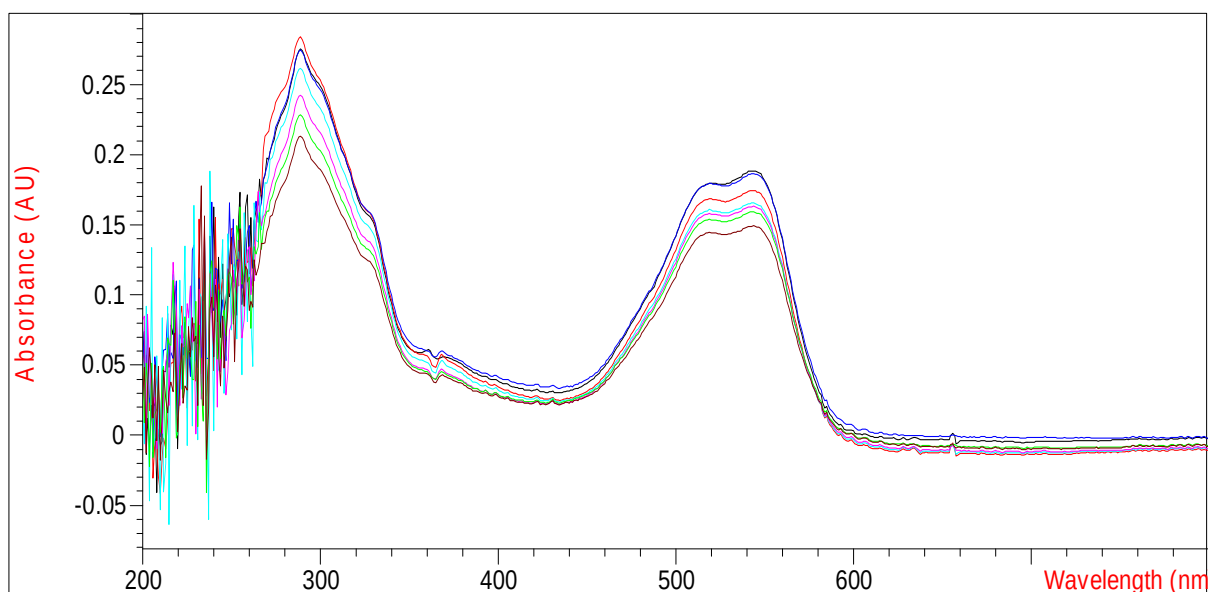
Waktu iradiasi (Jam)	Persen Degradasi (%)		
	289 nm	515 nm	545 nm
0,5	-	-	-
1	3,22	-	0,35
2	0,46	3,95	6,61
4	2,97	4,44	6,94
6	-	-	2,02

Pengaruh ZnO terhadap Larutan *Cibacron-red* yang diiradiasi dengan lampu UV

Spektrum *cibacron-red* yang diiradiasi dengan lampu UV dan katalis ditunjukkan pada gambar 4. Absorbansi dari larutan *cibacron-red* menurun dengan tajam dilihat dari nilai intensitas serapan yang terus menurun secara konstan seiring waktu iradiasi. Ada perbedaan yang nyata dari percobaan antara iradiasi dan tanpa diiradiasi sinar UV. Dari hal tersebut menandakan bahwa pusat

aktif katalis ZnO telah bereaksi dengan senyawa *cibacron-red* dalam air. Air ini dibutuhkan sebagai senyawa perantara untuk mendegradasi *cibacron-red* dimana ion radikal

OH* yang terbentuk akibat spesi aktif ZnO terhadap sinar UV berperan sebagai spesi aktif pendegradasinya.



Gambar 4. Grafik pengaruh ZnO terhadap larutan *cibacron-red* yang diiradiasi dengan lampu UV

Absorbansi larutan *cibacron-red* menurun pada masing-masing panjang gelombang 289, 515 dan 545 nm. Penurunan absorbansi yang terjadi pada serapan panjang gelombang 515 dan 545 nm yang berkisar dari 19,57 % hingga 21,11 % menunjukkan bahwa konsentrasi molekul dari azo *cibacron-red* dalam air semakin berkurang, yaitu terputusnya ikatan rangkap – N=N –. Secara kasat mata ditandai juga dengan perubahan warna dari larutan yang semakin memudar namun belum sampai pada tahap *zero-waste* dimana semua zat *cibacron-red* terdegradasi habis oleh katalis semikonduktor ZnO.

Penurunan absorbansi panjang gelombang 289 nm adalah yang terbesar yakni 22,51 %. Tingkat toksisitas senyawa *cibacron-red* ditentukan dari intensitas degradasi pada panjang gelombang 289 nm ini, dimana senyawa benzena tersebut akan diubah menjadi asam oksalat dan selanjutnya terdekomposisi lagi menjadi CO₂. Namun bila dibandingkan dengan penelitian lainnya, nilai ini tidak efektif sebagai aktivitas fotokatalis.

Ada berbagai kemungkinan faktor penyebab antara lain; (1) Suhu yang belum optimal pada imobilisasi ZnO di plat kaca, (2) Ketidaksesuaian larutan prekursor (etanol)

untuk ZnO yang akan diimobilisasi pada plat kaca, dan (3) waktu iradiasi yang singkat.

Tabel 6 di bawah ini memperlihatkan penurunan nilai absorbansi tersebut.

Tabel 6. Spesifikasi nilai absorbansi dari gambar 4

Waktu iradiasi (Jam)	Nilai Absorbansi		
	289 nm	515 nm	545 nm
0	0,27515	0,17719	0,18845
0,5	0,28378	0,16621	0,17407
1	0,27470	0,17720	0,18618
2	0,26142	0,15831	0,16517
4	0,24241	0,15596	0,16278
6	0,22840	0,15192	0,15892
7	0,21322	0,14251	0,14866
Selisih absorbansi setelah perendaman	0,06193	0,03468	0,03979

Tabel 7. Persentase degradasi positif berdasarkan penurunan absorbansi

Waktu iradiasi (Jam)	Persen Degradasi (%)		
	289 nm	515 nm	545 nm
0,5	-	6,19	7,63
1	0,16	-	1,20
2	4,99	10,65	12,35
4	11,89	11,98	13,62
6	16,99	14,26	15,67
7	22,51	19,57	21,11

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Katalis ZnO dapat diimobilisasi pada plat kaca dengan metode perendaman dengan muatan berat berkisar 0,00053 hingga 0,001 g.
2. Tidak ada penurunan tingkat absorbansi yang berarti terhadap larutan *cibacron-red* pada katalis ZnO tanpa iradiasi sinar UV.
3. Terjadi penurunan absorbansi larutan *cibacron-red* karena pengaruh iradiasi sinar UV terhadap katalis ZnO sebesar 19,57 – 22,51 %.
4. Katalis ZnO yang dibuat bersifat tidak reproduksibel, karena tidak menunjukkan penurunan absorbansi yang berarti lagi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Pasar Jum'at yang telah memfasilitasi terselenggaranya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Andayani, Winarti, (2001), *Degradasi Pentaklorofenol Dalam Air Secara Fotokatalitik Dengan TiO_2 Yang Diimmobilisasikan Pada Plat Logam Titanium* : *Evolusi Senyawa Intermediet*, Tesis Magister Ilmu Kimia, Program Pasca Sarjana-F.MIPA, Depok: Universitas Indonesia.
2. Anonim, (2004), *Himpunan Peraturan di Bidang Pengelolaan Lingkungan Hidup dan Penegakan Hukum Lingkungan*, Kementerian Lingkungan Hidup.
3. Jarnuzi Gunlazuardi, (2002), *Fotokatalisis pada Permukaan TiO_2* , Pengajar Jurusan Kimia FMIPA-UI, Sumber: Kompas, 27 September 2002.
4. Komala, Ismiarni, (2006). *Penentuan Struktur Molekul, Spektrofotometer UV-Vis: Presentasi Kuliah PSM*. Program Studi Kimia. UIN Syarif Hidayatullah. Jakarta.
5. Renita, (2004), *Perombakan Zat Warna Azo Reaktif Secara Anaerob-Aerob*. Fakultas Teknik. Jurusan Teknik Kimia. USU. Medan.
6. Sulastri, A., (2005), *Analisis Senyawa 2-klorofenol dan Hasil Degradasinya Secara Fotokatalitik dengan katalis ZnO*. Departemen Kimia, IPB, Bogor.
7. Sumartono, Agustin, (2000), *Penguraian Zat Warna Dispersi dalam larutan air dengan Iradiasi Gamma*, BATAN Press, Jakarta.
8. Widyayanti, Ratna, (2004). *Pengaruh Zat Warna Cibacron-Yellow Dengan Proses Fotokatalis Menggunakan Katalis Titanium Dioksida*. Skripsi, Fakultas Farmasi, Universitas Pancasila. Jakarta.