

FOTODEGRADASI ZAT WARNA TEKSTIL *CONGO RED* DENGAN FOTOKATALIS ZnO-ARANG AKTIF DAN SINAR ULTRAVIOLET (UV)

I Gusti Ayu Adesia Saraswati, Ni Putu Diantariani, dan Putu Suarya

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali

Email : putu_diantariani@unud.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai fotodegradasi zat warna tekstil *congo red* dengan fotokatalis ZnO-arang aktif dan sinar UV. Penelitian ini meliputi penentuan jumlah optimum fotokatalis ZnO-arang aktif, pH optimum, waktu radiasi optimum, konstanta laju reaksi (k), dan penentuan efektifitas proses fotodegradasi *congo red*. Fotokatalis ZnO-arang aktif dibuat dengan perbandingan berat ZnO dengan arang aktif 5:1 menggunakan metode sol-gel.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum proses fotodegradasi *congo red* memerlukan 50 mg fotokatalis ZnO-arang aktif, pH 4, dan waktu radiasi sinar UV selama 5 jam. Konstanta laju fotodegradasi *congo red* tanpa fotokatalis ZnO-arang aktif sebesar $0,0200 \text{ jam}^{-1}$ dan dengan fotokatalis ZnO-arang aktif sebesar $0,1745 \text{ jam}^{-1}$. Fotokatalis ZnO-arang aktif efektif dalam mendegradasi zat warna *congo red* pada kondisi optimumnya dengan persentase degradasi sebesar $(91,81 \pm 1,24)\%$.

Kata kunci : Fotodegradasi, ZnO-arang aktif, fotokatalis, *congo red*

ABSTRACT

The research was conducted to study photodegradation of congo red textile dyes by using photocatalyst ZnO-activated carbon and UV light. The parameters observed were optimum quantity of the photocatalyst ZnO-activated carbon, optimum pH, optimum radiation time, reaction rate constant, and the effectivity of photodegradation congo red. Photocatalyst ZnO-activated carbon was synthesized using sol-gel method with the ratio of ZnO : activated carbon 5:1.

The results showed that the optimum condition of photodegradation congo red required 50 mg of photocatalyst ZnO-activated carbon, pH 4, and 5 hours exposed to UV light radiation. The photodegradation rate constant of congo red using photocatalyst ZnO-activated carbon was $0.1745 \text{ hours}^{-1}$ and without photocatalyst was $0.0200 \text{ hours}^{-1}$. The photocatalyst ZnO-activated carbon in its optimum conditions was effective to reduce congo red textile dyes with 91.81 ± 1.24 percentages of degradation.

Keywords : Photodegradation, ZnO-activated carbon, photocatalyst, congo red

PENDAHULUAN

Salah satu upaya manusia untuk meningkatkan kesejahteraan hidupnya adalah dengan mengembangkan industri tekstil (Achmad, 2004). Dalam proses pewarnaan tekstil, sebagian besar zat warna yang digunakan akan terbuang sebagai limbah. Pada umumnya, zat warna dari limbah cair industri tekstil merupakan suatu

senyawa organik yang memiliki struktur aromatik sehingga sulit terdegradasi secara alamiah dan tentunya tidak ramah lingkungan. *Congo red* merupakan salah satu zat warna tekstil yang banyak digunakan. Keberadaan zat warna *congo red* dalam lingkungan perairan dapat merusak berbagai spesies makhluk hidup karena sifat zat warna *congo red* yang mempunyai toksisitas cukup tinggi. *Congo red* yang terakumulasi dalam tubuh

dapat menyebabkan gangguan fungsi hati, ginjal, dan syaraf (Wardhana, 2004).

Mengingat efek yang ditimbulkan oleh zat warna tekstil *congo red* terhadap lingkungan dan makhluk hidup di dalamnya, perlu dilakukan berbagai upaya untuk meminimalisir limbah zat warna tersebut sebelum dibuang ke dalam sistem perairan. Beberapa metode yang dapat dilakukan untuk meminimalisir kandungan zat warna dalam limbah industri tekstil antara lain metode biologi, koagulasi, elektrokoagulasi, adsorpsi, ozonisasi, dan klorinasi (Modirshahla, 2011, Ali and Siew, 2008). Namun, metode – metode tersebut kurang efektif dalam mengatasi limbah zat warna tekstil bahkan seringkali menimbulkan persoalan baru bagi lingkungan.

Saat ini dikembangkan suatu metode untuk pengolahan zat warna tekstil yang dikenal dengan fotodegradasi. Fotodegradasi yaitu suatu proses penguraian senyawa organik menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan menggunakan bantuan energi foton dan radiasi sinar UV. Fotodegradasi zat warna dapat dilakukan dengan menggunakan bahan fotokatalis dan radiasi sinar ultraviolet (UV). ZnO merupakan salah satu semikonduktor yang dapat digunakan sebagai bahan fotokatalis. ZnO memiliki berbagai keunggulan seperti *band gap* (energi celah) yang lebar yaitu 3,17 eV (Ali and Siew, 2008; Attia *et al.*, 2007), murah dan memiliki aktivitas fotokatalitik yang tinggi (Sakthivel *et al.*, 2003). Hussien (2007) menyatakan bahwa, ZnO merupakan fotokatalis yang memiliki kemampuan bagus dalam proses fotodegradasi zat warna. Menurut penelitian Sakthivel, *et al* (2003), ZnO merupakan fotokatalis yang paling aktif dalam mendegradasi zat warna azo (*azo dyes*). Dalam proses fotodegradasi, kemampuan adsorpsi dari fotokatalis ZnO yang rendah menjadi salah satu kelemahan dari fotokatalis. Untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitiknya, ZnO perlu dikombinasikan dengan suatu material adsorben yaitu arang aktif. Arang aktif digunakan karena memiliki daya serap yang tinggi dan mengandung karbon amorf serta memiliki permukaan dalam (*internal surface*) yang luas.

Penelitian yang dilakukan oleh Wicaksono, dkk (2013) menjelaskan komposit ZnO-karbon aktif yang disintesis dengan metode pengendapan mampu mendegradasi zat warna

Direct Blue 3R 100 ppm sampai dengan 95,367%. Penelitian yang dilakukan Wicaksono memiliki kelemahan, dimana ZnO dicampurkan dengan karbon aktif dan gipsium kemudian dibuat pelet mengakibatkan luas permukaan fotokatalis menjadi lebih kecil serta waktu yang dibutuhkan dalam pengerjaannya lebih lama. Dalam penelitian ini, fotokatalis yang telah dikombinasikan dengan arang aktif diharapkan mampu mendegradasi zat warna tekstil *congo red* secara maksimal. Dalam penelitian ini akan ditentukan kondisi optimum proses fotodegradasi *congo red* yang meliputi jumlah fotokatalis, pH larutan, dan waktu radiasi fotodegradasi. Disamping itu juga dipelajari laju dan efektifitas fotodegradasi zat warna *congo red* oleh fotokatalis ZnO-arang aktif.

MATERI DAN METODE

Bahan

Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah bahan berkualitas pro analisis (p.a) yaitu : *Congo Red* ($C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$), seng asetat dihidrat [$Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$], arang aktif, natrium hidroksida (NaOH), asam klorida (HCl), etanol absolut 98%, dan akuades.

Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah : alat-alat gelas, timbangan analitik, pH meter, seperangkat alat refluks, corong, desikator, pipet volume, pipet tetes, pipet ukur, bola penghisap, aluminium foil, kertas saring, termometer, batang pengaduk, pengaduk magnetik, pemanas, plastik hitam, kotak radiasi, oven, alat sentrifugasi, lampu Philips TUV 15 W/G15 T8 dengan panjang gelombang 253,47 nm, spektrofotometer UV-Vis 1800 Shimadzu, spektroskopi *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR) Prestige-21 Shimadzu, dan spektroskopi *X-Ray Diffraction* (X-RD).

Cara Kerja

Pembuatan Fotokatalis ZnO-Arang Aktif

Fotokatalis ZnO-arang aktif dibuat dengan perbandingan berat ZnO dengan arang aktif 5:1 menggunakan metode sol-gel. Campuran diaduk dan dipanaskan pada suhu 76°C pada labu refluks

selama 2 jam. Agar terbentuk fotokatalis ZnO-arang aktif ditambahkan NaOH 2 M sebanyak 225 mL, diaduk selama 1 jam dengan pengaduk magnetik dan didiamkan selama 1 malam kemudian disaring dengan kertas saring. Hasil fotokatalis ZnO-arang aktif yang terbentuk dikeringkan dengan oven pada suhu 60°C dan dilakukan karakterisasi menggunakan X-RD dan FT-IR.

Penentuan Jumlah Fotokatalis ZnO-Arang Aktif

Penentuan fotokatalis ZnO-arang aktif optimum dilakukan dengan menambahkan jumlah ZnO-arang aktif dengan variasi 10, 20, 30, 40, 50, dan 60 mg ke dalam 50 mL larutan *congo red* 100 ppm. Campuran larutan *congo red* dan ZnO-arang aktif diradiasi dengan lampu UV selama 5 jam sambil diaduk dengan pengaduk magnetik. Setelah proses radiasi, suspensi disentrifugasi dan supernatan dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum *congo red*. Selanjutnya dihitung nilai persentase degradasi untuk masing-masing perlakuan.

Penentuan pH Optimum Fotodegradasi Congo Red

Tujuh buah gelas beker 250 mL ditambahkan sebanyak 50 mL larutan *congo red* 100 ppm, sejumlah ZnO-arang aktif optimum dan diatur pHnya pada pH 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10 dengan menambahkan larutan HCl dan NaOH. Suspensi diradiasi dengan lampu UV selama 5 jam sambil diaduk dengan pengaduk magnetik. Setelah proses radiasi, suspensi disentrifugasi dan supernatan dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum *congo red*. Selanjutnya dihitung nilai persentase degradasi untuk masing-masing perlakuan.

Penentuan Waktu Radiasi Optimum dan Laju Fotodegradasi Congo Red

Penentuan waktu radiasi optimum dilakukan pada dua kondisi yaitu : (i) tanpa fotokatalis ZnO-AA dengan sinar UV, (ii) fotokatalis ZnO-AA dan sinar UV. Sebanyak enam buah gelas beker 250 mL ditambahkan 50 mL larutan *congo red* 100 ppm, sejumlah ZnO-arang aktif optimum dan diatur pH pada pH optimum. Suspensi diradiasi dengan lampu UV dengan variasi waktu 1, 2, 3, 4, 5, dan 6 jam sambil diaduk dengan pengaduk magnetik. Setelah proses radiasi, suspensi disentrifugasi dan supernatan dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang

gelombang maksimum *congo red*. Selanjutnya dihitung nilai persentase degradasi untuk masing-masing perlakuan.

Penentuan Efektifitas Fotodegradasi Congo Red

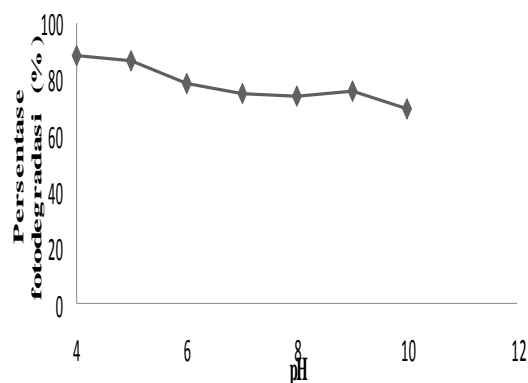
Penentuan efektifitas fotodegradasi dilakukan pada dua kondisi yaitu : (i) tanpa fotokatalis ZnO-AA dengan sinar UV, (ii) fotokatalis ZnO-AA dan sinar UV. Sebanyak tiga buah gelas beker 250 mL ditambahkan 50 mL larutan *congo red* 100 ppm, sejumlah ZnO-arang aktif optimum dan diatur pH pada pH optimum. Suspensi diradiasi dengan lampu UV selama waktu optimum sambil diaduk dengan pengaduk magnetik. Setelah proses radiasi, suspensi disentrifugasi dan supernatan dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum *congo red*. Selanjutnya dihitung nilai persentase degradasi untuk masing-masing perlakuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fotokatalis ZnO-arang aktif

Fotokatalis ZnO-arang aktif disintesis berdasarkan metode yang dilakukan oleh Wismayanti (2014), yaitu dengan menggunakan prekursor seng asetat dihidrat ($[\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$) dan arang aktif dengan pelarut etanol absolut 89%. Sintesis fotokatalis ZnO-arang aktif dilakukan dengan menggunakan metode sol gel yang merupakan metode untuk mensintesis material padatan (termasuk material oksida) dengan temperatur rendah yang melibatkan fase sol dan fase gel. Fotokatalis ZnO-arang aktif dikarakterisasi dengan menggunakan X-RD dan FT-IR. Hasil karakterisasi fotokatalis ZnO-arang aktif menggunakan X-RD menunjukkan bahwa kristal ZnO berbentuk heksagonal dengan ukuran kristal ZnO rata-rata 23,40 nm (Wismayanti, 2014).

Sementara, spektra infra merah dari fotokatalis ZnO-arang aktif memperlihatkan puncak serapan pada bilangan gelombang $439,77\text{cm}^{-1}$ yang diidentifikasi sebagai daerah regangan ZnO. Daerah regangan C-O alifatik menjelaskan dalam fotokatalis tersebut terdapat arang aktif. Hal ini didukung dengan terdapatnya puncak serapan pada bilangan gelombang $1417,68\text{cm}^{-1}$ dan $1342,46$ dengan serapan yang kuat



Gambar 2. Kurva hubungan antara pH dengan persentase degradasi (%D) dari larutan *Congo Red* 100 ppm

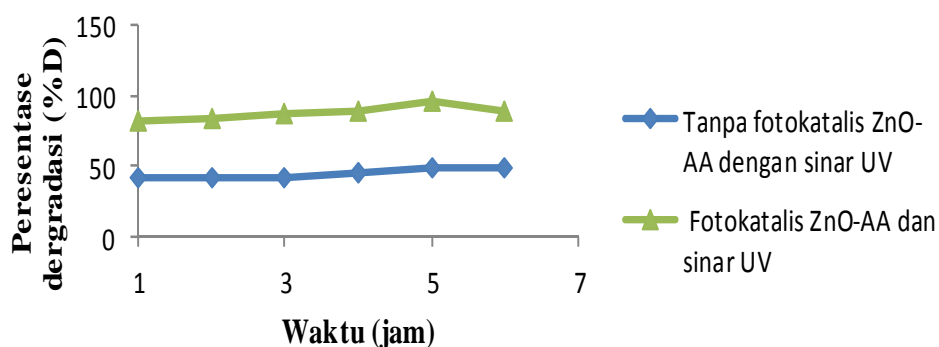
Secara teori, permukaan ZnO pada kondisi asam bermuatan positif sehingga lebih mudah untuk mengadsorpsi zat warna *congo red* yang mempunyai muatan negatif. Dengan demikian, pada kondisi asam semakin banyak jumlah zat warna *congo red* yang teradsorpsi pada permukaan ZnO, semakin banyak pula *congo red* yang terdegradasi oleh fotokatalis ini. Sementara, pada

kondisi basa proses fotodegradasi *congo red* kurang efektif. Hal yang sama juga didapatkan oleh Wijaya *et al.*, (2006) yang menunjukkan bahwa fotodegradasi zat warna *congo red* terjadi dalam suasana asam.

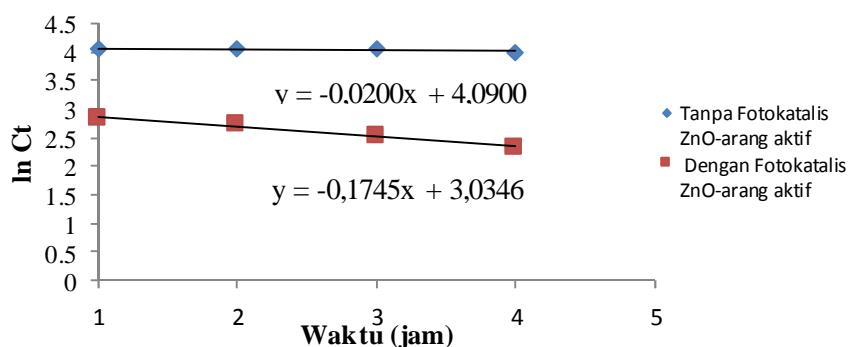
Waktu Radiasi Optimum dalam Proses Fotodegradasi *Congo Red*

Untuk mengetahui waktu radiasi optimum terhadap proses fotodegradasi maka dilakukan variasi waktu dari 1 sampai 6 jam dan dilakukan pada dua kondisi yaitu : (i) tanpa fotokatalis ZnO-AA dengan sinar UV, (ii) fotokatalis ZnO-AA dan sinar UV seperti yang terlihat pada Gambar 3.

Semakin lama waktu radiasi sinar UV maka semakin banyak foton/energi yang mengenai permukaan ZnO sehingga diperoleh persentase degradasi semakin besar (Subagio dan Nurhasanah, 2011). Hal yang sama juga ditemukan pada penelitian Attia, *et al* (2007) yang menyatakan bahwa semakin meningkat waktu radiasi sinar UV maka persentase degradasi (%D) semakin besar. Persentase degradasi *congo red* pada kondisi optimum ini menunjukkan bahwa perlakuan kondisi (ii) paling efektif dalam mendegradasi *congo red* dibandingkan pada kondisi (i) dengan waktu optimum pada jam ke-5.



Gambar 3. Kurva hubungan antara waktu dan persentase degradasi (%D) dari larutan *Congo Red* 100 ppm dengan dan tanpa fotokatalis



Gambar 4. Kurva hubungan antara $\ln [Ct]$ dan t (waktu) dengan dan tanpa fotokatalis ZnO-arang aktif

Laju Fotodegradasi

Laju fotodegradasi ditentukan dengan mengalurkan antara $\ln Ct$ terhadap waktu (t) dari persamaan laju fotodegradasi berikut :

$$\ln [C] = \ln [C]_0 - kt$$

Keterangan :

- $[C]_0$: konsentrasi zat warna pada saat awal ($t = 0$)
- $[C]$: konsentrasasi zat warna pada saat t waktu penyinaran
- k : tetapan laju fotodegradasi
- t : waktu

Nilai *slope* dari persamaan laju fotodegradasi merupakan nilai konstanta laju fotodegradasi seperti yang terlihat pada Gambar 4.

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa laju fotodegradasi dengan menggunakan fotokatalis ZnO-arang aktif memberikan nilai *slope* sebesar $0,1745 \text{ jam}^{-1}$. Sementara, laju fotodegradasi tanpa fotokatalis ZnO-arang aktif memberikan nilai *slope* sebesar $0,0200 \text{ jam}^{-1}$. Dari hasil penelitian, sangat jelas terlihat bahwa fotokatalis ZnO-arang aktif mempercepat proses fotodegradasi *congo red* sembilan kali lebih cepat dibandingkan tanpa fotokatalis. Adanya arang aktif pada katalis ZnO memberikan kontribusi yang besar dalam mempercepat proses fotodegradasi. Arang aktif menyediakan luas permukaan yang besar untuk penyerapan zat warna *congo red* sehingga *congo red* terkonsentrasi pada permukaan katalis ZnO. Dengan demikian, proses

fotodegradasi *congo red* oleh radikal hidroksi yang terbentuk pada permukaan katalis menjadi semakin mudah dan cepat.

Efektifitas Proses Fotodegradasi Congo Red

Untuk mengetahui efektifitas terhadap proses fotodegradasi dilakukan pada waktu radiasi optimum selama 5 jam. Efektifitas fotodegradasi dilakukan pada dua kondisi dengan dan tanpa fotokatalis ZnO-arang aktif seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Efektifitas fotodegradasi larutan *Congo Red* 100 ppm dengan dan tanpa fotokatalis ZnO-arang aktif

Kondisi	Berat fotokatalis ZnO-AA (mg)	Berat larutan <i>congo red</i> yang terdegradasi (mg)	Persentase degradasi (%D)
1	50 mg	2,2900 mg	$45,80 \pm 1,03 \%$
2	50 mg	4,5905 mg	$91,81 \pm 1,24 \%$

Keterangan :

Kondisi 1 = Tanpa fotokatalis ZnO-AA dengan sinar UV

Kondisi 2 = Fotokatalis ZnO-AA dan Sinar UV

Persentase degradasi (%D) *congo red* dengan fotokatalis ZnO-arang aktif pada kondisi optimum jauh lebih besar dibandingkan tanpa

fotokatalis ZnO-arang aktif yakni 2,2900 mg. Fotokatalis ZnO-arang aktif dalam penelitian ini mampu mendegradasi larutan *congo red* sebanyak 4,5905 mg (persamaan degradasi $91,81 \pm 1,24$ %) dengan 50 mg katalis. Sementara, penelitian yang dilakukan oleh Widiyanti (2010) dengan jumlah katalis yang sama hanya mampu mendegradasi larutan *congo red* sebanyak 2,7867 mg. Fotokatalis ZnO yang telah dikombinasikan dengan arang aktif mampu mendegradasi zat warna *congo red* pada konsentrasi yang lebih tinggi. Pada fotokatalis, arang aktif berfungsi mentransfer molekul *congo red* ke permukaan katalis sehingga degradasi akan menjadi lebih maksimal.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Persentase fotodegradasi paling optimum diperoleh pada penambahan jumlah fotokatalis ZnO-arang aktif sebanyak 50 mg, pH larutan 4, dan waktu radiasi selama 5 jam.
2. Nilai tetapan laju fotodegradasi larutan *congo red* tanpa fotokatalis ZnO-arang aktif dengan sinar UV adalah $0,0200 \text{ jam}^{-1}$. Sedangkan, nilai tetapan laju fotodegradasi larutan *congo red* dengan fotokatalis ZnO-arang aktif dan sinar UV adalah $0,1745 \text{ jam}^{-1}$.
3. Fotokatalis ZnO-arang aktif sangat efektif dalam mendegradasi *congo red* pada kondisi optimumnya, dengan memberikan persentase degradasi sebesar $91,81 \pm 1,24\%$

Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut dengan mengaplikasikan fotokatalis ZnO-arang aktif langsung pada limbah zat warna industri tekstil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak I Wayan Sudiarta, S.Si., M.Si., Ibu Oka Ratnayani, S.Si., M.Si., Ph.D., dan Ibu Dra. Wiwik Susannah Rita, M.Si. yang telah memberikan

dorongan, semangat, dan saran selama penulisan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu sehingga tulisan ini dapat terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, R., 2004, *Kimia Lingkungan*, Andi, Yogyakarta
- Ali, R., and Siew, ooi Bon, 2008, Photodegradation of New Methylen Blue N in Aqueous Solution Using Zinc Oxide and Titanium Dioxide as Catalyst, *Desalination*, 1-14
- Attia, A.J., Kadhim, S.H., and Hussen, F. H., 2007, Phoyocatalytic Degradation of Textile Dyeing Wastewater Using Titanium Dioxide and Zinc Oxide, *E-Journal of Chemistry*, 2 : 219-223
- Hartini, E., 2011, Modifikasi Zeolit Alam dengan ZnO Untuk Degradasi Fotokatalis Zat Warna, *Tesis*, Falkutas MIPA UI, Depok
- Hussen, U., 2007, *Metode Penelitian Untuk Skripsi Dan Tesis Bisnis*, PT. Raja Grafindo Persada, Jakarta
- Modirshahla, Aydin Hassani, Nasser, Behnajady, Mohammad A., and Rahbarfam, Rajab, 2011, Effect of operational parameters on decolorization of Acid Yellow 23 from wastewater by UV irradiation using ZnO and ZnO/SnO₂ photocatalysts, *Desalination*, 187-192
- Sakthivel, S., Neppolian, B., Shankar, M. V., Arabindoo, B., Palanichamy, M., and Murugesan, M., 2003, Solar Photocatalytic Degradation of Azo Dye: Comparison of Photocatalytic Efficiency of ZnO and TiO₂, *Solar Energy Material and Solar Cells*. 77 : 65-82
- Silverstein, Bassler, and Morrill, 1984, *Penyidikan Spektrometri Senyawa Organik*, Erlangga, Jakarta
- Subagio, F.A.A. dan Nurhasanah, I., 2011, Sintesis Nanokomposit TiO₂ – Carbon Nanotubes Menggunakan Metode Sol-Gel untuk Fotodegradasi Zat Warna Azo Orange 3R, *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 29 (2) : 63-72

- Wardhana, W. A., 2004, *Dampak Pencemaran Lingkungan*, Cetakan keempat, Penerbit ANDI, Yogyakarta
- Wicaksono, A.P., Prasetya, dan Hastuti, R., 2013, Pengaruh Ion Logam Co^{2+} dan Cu^{2+} Pada Proses Fotodegradasi Direct Blue 3R Menggunakan Fotokatalis Komposit ZnO-Karbon Aktif, *Chem Info*, 316-327
- Widiantini, N. L. P., 2010, Fotodegradasi Congo Red dengan Sinar UV, Katalis ZnO dan Oksidator H_2O_2 , *Skripsi*, Jurusan Kimia, Falkutas MIPA, Universitas Udayana, Bukit Jimbaran
- Wijaya, K., Sugiharto, E., Fatimah, I., Sudiono, S., dan Kurniaysih, D., 2006, Utilisasi TiO_2 -Zeolit Dan Sinar UV Untuk Fotodegradasi Zat Warna Congo Red, *Berkala MIPA*, 3 : 27-35
- Wismayanti, D.A., 2014, Pembuatan Komposit ZnO-Arang Aktif Sebagai Fotokatalis untuk Mendegradasi Zat Warna Metilen Biru, *Skripsi*, Jurusan Kimia, Falkutas MIPA, Universitas Udayana, Bukit Jimbaran