

# **Pengolahan Zat Warna Tekstil (*Rhodamine B*) dengan Teknologi AOP (*Advance Oxidation Processes*) menggunakan Katalis Ce@Carbon Sphere dan Oksidan *Peroxymonosulfate***

**Ilok Dianggoni<sup>1</sup>, Edy Saputra<sup>2</sup>, Jhon Armedi Pinem<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia S1, <sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Kimia

Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas km 12,5 Pekanbaru 28293

*Dianggoni.ilok@gmail.com*

## **ABSTRACT**

*Waste water of textile industry contributes in environmental pollution, especially wastewater containing dye and organic compounds are dangerous because they are non-biodegradable, toxic and harmful to the environment, like as Rhodamine B. Therefore, it is necessary to do the processing of waste dye textile industry to reduce the impact of pollution on the environment. One of the latest innovations in the processing of textile waste is using advanced oxidation processes (AOPs) by oxidant capable of generating a radical sulphate ( $SO_4^*$ ). This study aims to determine the activity of Ce@Carbon Sphere as a catalyst in the oxidation process, to degradation of dye in wastewater by using a combination of peroxymonosulfate and catalyst Ce@Carbon Sphere as an oxidater, and determine the optimum conditions to reduce dye in water. Catalytic synthesis process carried out by the hydrothermal process to produce black carbon from D-glucose and Cerium Nitrate Hexahidrate solution, at 180°C for 18 hours in an autoclave. Then calcined with  $N_2$  at 550°C for 2 hours. Degradation of Rhodamine B (waste artificially) 25 ppm for 2 hours with various concentrations of the catalyst 0,1; 0,2; 0,3 and 0,4gr/L and the concentration proxymonosulfate 1; 2; 3 and 4 g/L. One oft the conditions for reducing the levels of Rhodamine B in water is concentration of peroxymonosulfate at 1 g/L and Ce@Carbon Sphere at 0,1 g/L with efficiency up to 32,59%.*

**Keywords:** *AOPs, Rhodamine B, Ce@Carbon Sphere, Peroxymonosulfate*

## **1. Pendahuluan**

Tekstil merupakan kebutuhan bagi masyarakat, ini adalah komoditi yang menjadi salah satu kebutuhan pokok manusia selain pangan dan papan. Indonesia sebagai negara yang memiliki berbagai macam kebudayaan, dimana masing – masing kebudayaan memiliki ciri khas pakaian tersendiri dan juga Indonesia memiliki wajah sebagai pengeksport tekstil bermutu bagus di dunia, oleh karna itu tekstil merupakan salah satu hasil kerajinan turun temurun masyarakat indonesia yang banyak diminati oleh masyarakat mancanegara. Industri tekstil di Indonesia

memainkan peranan penting dalam meningkatkan nilai ekonomi negara yang menjadi orientasi ekspor ke negara luar dalam memenuhi kebutuhan pasar internasional. Selain itu, industri tekstil juga berkontribusi sebesar 12,72 % dalam perolehan devisa negara terhadap ekspor non migas (Hermawan, 2011). Sebagai daerah yang memiliki identitas sebagai pusat kebudayaan melayu di Indonesia, dengan songket yang menjadi ciri khas kain adat, ini mendorong usaha tekstil songket di Provinsi Riau.

Industri tekstil tentu mendatangkan keuntungan bagi negara dan juga sebagai

mata pencaharian bagi masyarakat, namun perkembangannya juga perlu diimbangi dengan pengolahan yang baik terhadap limbah buangnya, baik dalam bentuk gas, padat maupun cair. Kebanyakan industri tekstil menggunakan pewarna sintetis dengan alasan murah, tahan lama, mudah diperoleh dan mudah dalam penggunaannya, namun limbah yang dihasilkan mengandung pewarna sintetis tersebut dan juga sulit terdegradasi. Songket merupakan industri tekstil tradisional yang sebagian besar masih di produksi dalam skala Industri Rumah Tangga, dimana ini mengindikasikan bahwa pengelolaan limbah tekstil yang masih sangat sederhana. Limbah tekstil tersebut mengandung zat warna senyawa organik dari jenis prosion, erionil, auramin maupun *Rhodamine B* yang jika dialirkan ke badan perairan akan mengurangi kadar oksigen perairan karena oksigen tersebut justru digunakan sebagai pengoksidasi senyawa organik zat warna tersebut.

Limbah yang dihasilkan dari Industri tekstil dapat mengganggu proses biologis yang ada di dalam badan air, hal ini di sebabkan limbah yang di hasilkan industri tekstil mengandung zat warna senyawa organik sehingga menghambat jalannya cahaya matahari di dalam air. Dengan dampak yang di akibatkan dari limbah tekstil maka pemerintah dengan Kep MENLH No. 51/1995 sehingga menjadikan limbah tekstil sebagai limbah yang sangat di perhatikan, yakni suatu industri yang limbahnya harus memenuhi baku mutu air buangan dan pemakaian air juga harus dibatasi untuk menghasilkan setiap ton produk. Dan juga berkaitan dengan Peraturan Pemerintah RI No. 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

Setiap limbah yang di hasilkan dari berbagai industri dan telah diolah di harapkan tidak memiliki kandungan warna, sludge, dan zat berbahaya. Dalam

penanganannya limbah secara umum di olah dengan cara fisika, kimia, dan biologi untuk mendegradasi kandungan yang ada. Pada dewasa ini penyisihan warna dan COD dalam limbah industri tekstil terkonsentrasi pada proses koagulasi. Koagulasi memiliki kelemahan dalam sisi ekonomi industri yaitu mahalnya biaya operasional menggunakan koagulan, selain itu hasil dari koagulasi yaitu *sludge* membutuhkan penanganan lanjutan. Selain koagulasi, beberapa cara pengolahan limbah konvensional juga telah banyak dilakukan, misalnya dengan cara klorinasi, pengendapan dan penyerapan oleh karbon aktif, kemudian lumpur *sludge* yang terbentuk dibakar dan diproses secara mikrobiologi. Namun dalam pembakaran menimbulkan senyawa klorida, sedangkan dalam penggunaan karbon aktif hanya dapat menyerap organik non polar dengan berat molekul rendah, kemudian proses mikrobiologi hanya mengurai senyawa *biodegradable* dan senyawa *non-biodegradable* tetap pada *sludge* yang kemudian kembali ke lingkungan (Tunay O dkk., 1996).

Metode *Advanced Oxidation Process* (AOP) merupakan metode pengolahan limbah cair yang cukup terjangkau, proses ini dapat mendegradasi senyawa-senyawa berbahaya dalam limbah melalui proses oksidasi (*oxidative degradation*) (Malato dkk., 2002). Teknologi *Advanced Oxidation Process* (AOP) adalah salah satu atau kombinasi dari beberapa proses seperti ozon ( $O_3$ ), *hydrogen peroxide*, *ultraviolet light*, *titanium oxide*, *photocatalyst*, *sosnolysis*, *electron beam*, *electrical discharge* serta beberapa proses lainnya untuk menghasilkan radikal aktif. Pada umumnya polutan utama yang terkandung dalam limbah cair mengandung bahan peroksida adalah senyawa-senyawa organik beracun yang dapat mencemari lingkungan air dan udara apabila dibuang langsung ke lingkungan dalam jumlah yang banyak. Untuk

mengatasi polutan yang terkandung dalam limbah cair bahan peroksida, penggunaan cara oksidasi merupakan proses utama dalam proses pengolahan air limbah dengan teknologi ozon ini. Oksidasi sangat diperlukan dalam proses penguraian senyawa-senyawa kimia organik dan sebagian anorganik (Hutagalung dkk., 2010). Radikal aktif mudah bereaksi dengan senyawa organik apa saja tanpa terkecuali, terutama senyawa-senyawa organik yang selama ini sulit atau tidak dapat diuraikan dengan metode mikrobiologi atau membran filtrasi. Selain itu, hasil akhir dari proses oksidasi tersebut hanya karbon dioksida dan air, sehingga tidak berbahaya jika dibuang ke badan air (Klamerth, 2011).

Sulfat radikal ( $\text{SO}_4^*$ ) merupakan radikal aktif yang memiliki potensial oksidasi yang cukup tinggi yaitu 2,5 – 3,1 V (Neta P dkk., 1988). Beberapa penelitian telah dilakukan menggunakan proses oksidasi katalitik untuk menghasilkan sulfat radikal, seperti kombinasi *peroxymonosulfate* dengan katalis homogen ion logam ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^{+1}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ). Namun dalam prosesnya, katalis homogen merupakan cara yang kurang efektif, ini disebabkan dalam proses pemisahan larutan dan katalis yang membutuhkan waktu. Selain itu, beberapa penggunaan ion logam seperti Co, dianggap sebagai senyawa beracun dan berbahaya yang mengganggu kesehatan manusia (Klamerth, 2011).

Oleh karena itu pada penelitian ini, akan dilakukan proses AOP terhadap air yang telah ditambahkan zat warna azo yaitu *Rhodamine B* dengan konsentrasi tertentu, kemudian menganalisa hasil dari proses tersebut. Pada prosesnya, AOP yang akan diterapkan adalah dengan mengkombinasikan *peroxymonosulfate* ( $2\text{KHSO}_5.\text{KHSO}_4.\text{K}_2\text{SO}_4$ ) dan katalis berupa partikel *Ce@Carbon sphere*. Kombinasi tersebut akan menghasilkan Radikal sulfat

( $\text{SO}_4^*$ ) bebas yang mampu memecahkan molekul zat warna dalam air. Kombinasi ini diharapkan mampu menurunkan kadar zat warna dan senyawa organik dalam air limbah dengan efektif.

## 2. Metode Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah tekstil *artificial* (larutan stok 5, 10 dan 25 ppm) yang dibuat dengan melarutkan *Rhodamine B* dengan *aqua DM*, *peroxymonosulfate* ( $2\text{KHSO}_5.\text{KHSO}_4.\text{K}_2\text{SO}_4$ ), Cerium (III) nitrat hexahidrat [ $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3.6\text{H}_2\text{O}$ ], *D-glucose*, metanol, dan gas nitrogen.

Sedangkan Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah *Teflon-line autoclave*, *magnetic stirrer*, *oven*, *turbular furnace*, *beaker glass*, *erlenmeyer*, neraca analitis, gelas ukur, labu ukur, pipet tetes, pipet volumetrik, dan spektrofotometer UV-Vis.

### Pembuatan Limbah Tekstil Artificial

Zat warna yang digunakan adalah zat warna yang banyak digunakan pada industri tekstil, seperti *Rhodamine B*, kemudian dibuat limbah tekstil buatan (limbah *artificial*). Limbah *artificial* diperoleh dengan cara melarutkan 5, 10, dan 25 mg *Rhodamine B* dengan aquades sampai volume 1000 ml sehingga didapat masing-masing konsentrasi larutan stok 5 ppm, 10 ppm, dan 25 ppm.

### Menentukan panjang gelombang maksimum

Penentuan panjang gelombang maksimum untuk zat warna *Rhodamine B* 5, 10, dan 25 ppm pada panjang gelombang 500 – 600 nm dengan menggunakan alat spektrofotometer UV – Vis. Hasil absorbansi maksimum yang diperoleh merupakan panjang gelombang optimum yang akan digunakan dalam penelitian.

### Pembuatan partikel *Ce@Carbon Sphere*

*Composite Ce@Carbon sphere particel* dapat dibuat dengan cara kimia. Caranya adalah dengan melarutkan *D-Glucose* (99.5%) dan cerium (III) nitrat heksahidrat  $[\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$  dalam aquades, kemudian diaduk dengan stirrer selama 4 jam. Kemudian larutan tersebut dipindahkan kedalam *teflonlined autoclave* (120ml) dan dipanaskan pada suhu  $180^\circ\text{C}$  selama 18 jam, setelah itu larutan didinginkan hingga suhu larutan mencapai suhu ruangan. Larutan disaring untuk mendapatkan *black suspension*, yang kemudian *black suspension* tersebut di cuci dengan etano/aquades, setelah itu dipanaskan pada suhu  $80^\circ\text{C}$ . Hasil yang di dapat merupakan *Ce@Carbon Sphere* dan kemudian dikalsinasi dengan  $\text{N}_2$  pada suhu  $550^\circ\text{C}$  selama 2 jam.

#### Analisa Katalis

Morfologi eksternal dan komposisi kimia katalis dianalisa dengan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) dan Kandungan pada katalis yang dihasilkan, dianalisa dengan menggunakan *X-ray diffraction* (XRD).

#### Reaksi oksidasi zat warna

Degradasi zat warna ini dilakukan dengan variasi larutan stok (limbah artificial) 5, 10, dan 25 ppm di dalam *beaker glass* 1 L. Awalnya, tambahkan larutan *peroxymonosulfate* ( $2\text{KHSO}_5 \cdot \text{KHSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4$ ) ke dalam larutan stok dengan variasi 1; 2; 3 dan 4 gram/liter. Kemudian, tambahkan katalis *Ce@carbon sphere* kedalam campuran tersebut untuk memulai reaksi oksidasi zat warna dengan variasi 0,1; 0,2; 0,3 dan 0,4 gram/liter. Campuran direaksikan dengan pengadukan tetap, yaitu 400 rpm. Sampel diambil sebanyak 5 ml melalui pipet volume dalam selang waktu 15 menit selama 2 jam. Kemudian sampel tersebut disaring dengan kertas saring, untuk memisahkan katalis

dengan larutan dan tambahkan 1 ml *pure methanol* untuk menghentikan reaksi. Selanjutnya, larutan tersebut dianalisa kadar zat warna dengan spektrofotometer UV-Vis.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### Pengaruh Konsentrasi *Peroxymonosulfate* pada Reaksi Oksidasi zat warna *Rhodamine B*

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi optimum pada proses degradasi limbah tekstil *artificial (Rhodamine B 25 ppm)*. Variasi konsentrasi *peroxymonosulfate* yang digunakan adalah 1, 2, 3, dan 4 gr/L. Reaksi yang terjadi pada proses ini bertujuan untuk mengurangi kadar zat warna *Rhodamine B* di dalam air. Hal ini dilakukan untuk memperbaiki kualitas air yang tercemar oleh senyawa kimia berbahaya tersebut. Dalam penelitian tahap ini didapatkan efisiensi dengan rentang nilai efisiensi 25% hingga 40%.

#### Uji Sifat Katalitik partikel *Ce@Carbon sphere* pada *Advanced Oxidation Processes (AOP)*

Pada tahap AOP dilakukan degradasi zat warna *Rhodamine B* dengan menggunakan *peroxymonosulfate* untuk menghasilkan sulfat radikal ( $\text{SO}_4^*$ ) dengan menggunakan katalis partikel *Ce@Carbon sphere*. Tujuannya adalah untuk mengaktifkan dan menambah kinerja dari *peroxymonosulfate* dalam mereduksi zat warna *Rhodamine B*. Untuk melihat kinerja dari katalis, dilakukan reaksi oksidasi pada konsentrasi yang paling rendah terlebih dahulu yaitu pada konsentrasi *peroxymonosulfate* 1 gr/L dengan variasi konsentrasi katalis *Ce@Carbon sphere* 0,1 gr/L, 0,2 gr/L, 0,3 gr/L, dan 0,4 gr/L diaplikasikan pada proses degradasi dengan konsentrasi zat warna *Rhodamine B* sebesar 25 ppm. . Dalam penelitian tahap ini

didapatkan efisiensi dengan rentang nilai efisiensi 30% hingga 70%.

#### **Pengaruh Konsentrasi zat warna Rhodamine B pada Advanced Oxidation Processes (AOP)**

Setelah melakukan percobaan pengaruh konsentrasi *peroxymonosulfate* dan konsentrasi katalis didapatkan konsentrasi optimum *Peroxymonosulfate* 4gr/l dan Katalis 0,4 gr/l, data tersebut di jadikan sebagai variabel tetap pada percobaan ini dan menggunakan variabel berubah berupa variasi konsentrasi zat warna *Rhodamine B* untuk mengetahui kondisi optimum pada proses degradasi limbah tekstil *artificial*. Variasi konsentrasi zat warna *Rhodamine B* yang digunakan adalah 5, 10 dan 25 ppm. . Dalam penelitian tahap ini didapatkan efisiensi dengan rentang nilai efisiensi 70% hingga 90%.

#### **4. Kesimpulan**

Kondisi optimum dalam proses degradasi zat warna *Rhodamine B* dengan konsentrasi 5 ppm dalam air sudah mencapai efisiensi di atas 80%.

#### **Daftar Pustaka**

Anggraeni, N.D. 2008. Analisa SEM (Scanning Electron Microscopy) dalam Pemantauan Proses Oksidasi Magnetite Menjadi Hematite, *Seminar Nasional-VII*, Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri, Kampus ITENAS, Bandung.

Anipsitakis, G, P., dan Dionysiou, D, D. 2004. Redical generation by the interaction of transition metals with common oxidant. *Environmental science & technology*, 38, 3705-3712.

Chen, X., Xue, Z., Yao, Y., Wang, W., Zhu, F., dan Hong, C. 2012 Oxidation Degradation of Rhodamine B in Aqueous by  $UV/S_2O_8^{2-}$  Treatment

System. *International Journal of Photoenergy*, 2012, 754-691

Degreemont. 1991. *Water treatment Handbook Sixth Edition*. Lavoisier. California.

Fardiaz, S. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta. Penerbit Kanisius.

Fernandez-Alba, A., Guli, H., Diaz Lopez, G., dan Chisti, Y. 2002. Comparative evaluation of the effects of pesticides in acute toxicity luminescence bioassays. *Analytica Chimica Acta*, 451, 195–202.

Gilmour, C. 2012. Water treatment using advanced oxidation processes: Application perspectives. *Tesis Magister*. The School of Graduate and Postdoctoral Studies The University of Western Ontario.

Gottschalk, C., Libra, J. A., dan Saupe, A. 2000. *Ozonation of Water and Wastewater. A Practical Guide to Understanding Ozone and Its Application*. Weinheim, German. Willey Vch Verlag Gmbh.

Hadiwidodo, M. 2009. Penurunan warna, COD dan TSS limbah cair industri tekstil Menggunakan teknologi *dielectric barrier discharge* dengan Variasi tegangan dan *flow rate* oksigen. *Jurnal PRESIPITASI* Vol. 7 No.2 September 2009, ISSN 1907-187X

Hartanto, E., Bastaman, S., dan Citoreksoko, P. 1993. Pengaruh penambahan khitosan dan lama pengendapan terhadap hasil penanganan limbah cair industri penyamakan kulit. *Warta IHP/J. of Agro-Based Industry*, 10, 14-17.

Hermawan, I. 2011. *Analisi dampak kebijakan makroekonomi terhadap perkembangan industri tekstil dan produk tekstil Indonesia*. Bank Indonesia: Jakarta



- Hutagalung, S., Tri Sugiarto, A., dan Luvita, V. 2010. metode advanced oxidation processes (AOP) untuk Mengolah limbah resin cair. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah VIII*, ISSN 1410-6086
- Karimi, A.A., Redman, J.A., dan Glaze, W.H. 1997. Technology Overview, *Journal AWWA*, 89, 41.
- KEP- 51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri
- Klamerth, N. 2011. Application of a solar photo-fenton for the treatment of contaminants in municipal wastewater effluents. *Disertasi doctoral*. departamento de hidrogeologia y quimica analitica Universidad De Almeria. Almeria.
- Kuo, W. S., dan Ho, P. H. 2001. Solar Photocatalytic Decolorization of Methylene Blue in Water,. *Journal Chemosphe*, 45, 77-83.
- Mahfuza, Y. 2005. Proses oksidasi lanjutan (Advanced Oxydation Processes) sebagai pengolahan air limbah industri tekstil dalam upaya pengendalian pencemaran air. *Tesis Magister*. Sekolah Pasca Sarjana Universitas Sumatera Utara.
- Malato, S., dan Robert, D. 2002. Solar Photocatalysis : A clean Process for water detoxification. *The science of the Total Environment*, 291, 85-77.
- Manurung, R. 2004. *Proses Anaerobik Sebagai Alternatif Untuk Mengolah Limbah Sawit*. Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Mantzavinos, D., dan Psillakis, E. 2004. Enhancement of biodegradability of industrial wastewaters by chemical oxidation pre-treatment. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 79, 431-454.
- Mattioli, D., Malpei, F., Bortone, G., dan Rozzi, A. 2002. Water minimisation and reuse in the textile industry in water recycling and resource recovery in industry. *IWA publishing*, 27, 545-581.
- Mikrajuddin, A. 2008. Sintesis Nanomaterial. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, 1, 2.
- Mondal, S. 2008. Methods of Dye Removal from Dye House Effluent. *Overview Environmental Engineering Science*, 25, 383-396.
- Muarip, S. 2013. Fotodegradasi Zat Warna rhodamin B dengan Fotokatalis komposit TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>. *Skripsi Sarjana*. Fakultas sains dan teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.
- Mukaromah, A., Yusrin., dan Mubiarti, E. 2012. Degradasi zat warna rhodamin B secara advanced oxidation processes metode fenton berdasarkan variasi konsentrasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Penelitian Diploma*. Fakultas Ilmu keperawatan dan kesehatan Universitas Muhammadiyah Semarang.
- Nemerow, L., dan Agardy, F. 1997. *Strategies of Industrial and Hazardous Waste Management*. John Wiley & Sons
- Nugroho, R., dan Ikbali. 2005. Pengolahan air limbah berwarna Industri Tekstil dengan proses AOPs. *JAI* 1, 2, 2005. Pusat pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan, BPPT.
- Oturan, M., Oturan, N., Lahitte, C., dan Trevin, S. 2001. Production of hydroxyl radicals by electrochemically assisted Fenton's reagent Application to the mineralization of an organic micropollutant, pentachlorophenol. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 507, 96 – 102.
- Peraturan Pemerintah RI No. 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air

- Peraturan Pemerintah RI No. 20 tahun 1990 tentang Pencemaran Air.
- Perkowski, J., dan Stainslaw L. 2002. *Decomposition of Anthraquinone Dye in the Aqueous Solution by Ozon, Hydrogen Peroxide or UV*, Dept of Bioprocess Engineering, Institute of Radiation Chemistry, Poland.
- Radetic, T., 2011, *Fundamentals of Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive X-ray Analysis in SEM and TEM*, University of Belgrade Faculty of Technology and Metalurgy, Beograd, Serbia.
- Ramachandra, T., Ganesan, P., dan Hariharan, S. 2009. Decolourization of textile effluent. *An overview journal Inst. Engineering (India)*, 90, 20-25.
- Saputra, E., Muhammad, S., Sun, H., Ming ang, H., Tade, M., dan Wang, S. 2014. Shape-Controlled activation of peroxymonosulfate by single crystal -  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  for catalytic phenol degradation in aqueous solution. *Applied Catalysis B: Environmental*, 154-155, 246-251.
- Sastrawidana. 2009. Isolasi bakteri dari lumpur limbah tekstil dan aplikasinya untuk pengolahan limbah tekstil menggunakan sistem kombinasi Anaerob-aerob. *Disertasi Doktorat*. Program studi pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Tunay, O., Kabdasli, I., Eremektarand, G., dan Orhon, D. 1996. Color Removal from Textile Wastewaters. *Wat. Sci.Ted*, 34, 9-16.
- Van der Zee, F. 2002. Anaerobic Azo dye Reduction. *Tesis Doktorat*. Wageningen University. Wageningen.
- Widjajanti, E., Taufik, R., dan Prajonto Utomo, 2011. M. Pola adsorpsi zeolit terhadap pewarna azo metil merah dan metil jingga. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Zhou, G., Sun, H., Liu, S., Ming Ang, H., Tade, M., dan Wang, S. 2012. Nano- $\text{Fe}^0$  Encapsulated in Microcarbon Spheres: Synthesis, Characterization, and Environmental. *Applications ACS Appl. Mater. Interfaces*, 4, 6235–6241.
- Zille, A., Gornacka, B., Rehorek, A., dan Cavaco-Paulo, A. 2005. Degradation of Azo Dyes by *Trametes Villosa* Laccase over long periods of oxidation conditions. *Applied and Environmental Microbiology journal*, 71, 6711-6718.