

## EFISIENSI PEROMBAKAN WARNA AIR LIMBAH TEKSTIL BUATAN YANG DIOLAH SECARA ELEKTROOKSIDASI PADA VARIASI pH, KONSENTRASI GARAM DAN BEDA POTENSIAL

I Dewa Ketut Sastrawidana<sup>1\*</sup> & Dewi Oktifa Racmawati<sup>2</sup>

Jurusan Pendidikan Kimia Universitas Pendidikan Ganesha, Singaraja<sup>1\*</sup>  
Jurusan Pendidikan Fisika Universitas Pendidikan Ganesha, Singaraja<sup>2</sup>

Email : idewasastra@yahoo.com

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis besarnya efisiensi perombakan warna dari air limbah limbah tekstil buatan yang diolah secara elektrooksidasi menggunakan multi elektroda karbon pada variasi pH, konsentrasi garam dapur dan beda potensial. Zat warna yang digunakan untuk membuat limbah tekstil buatan terdiri dari remazol red, remazol yellow, remazol blue dan remazol black. Reaktor elektrooksidasi mempunyai dimensi panjang, lebar dan tinggi secara berturut turut sebesar 50 cm x 35 cm x 25 cm yang didalamnya terangkai delapan elektroda karbon ( 4 anoda dan 4 katoda) yang disusun secara selang seling dengan jarak antar elektroda 10 cm. Proses perombakan ditetapkan selama 60 menit dengan variasi pH 4 sampai pH 10, konsentrasi NaCl 2-10 gram perliter limbah dan variasi beda potensial terpakai sebesar 10-24 volt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perombakan air limbah tekstil buatan 150 ppm dalam reaktor elektrooksidasi berlangsung optimal pada kondisi pH limbah awal adalah 9 dan konsentrasi NaCl adalah 9 gram per liter limbah. Untuk menghasilkan efisiensi perombakan warna 95,06% dicapai dengan menggunakan potensial 10 Volt sedangkan untuk menghasilkan efisiensi perombakan 99,75% menggunakan potensial 24 volt dengan lama waktu perombakan 60 menit.

*Kata-kata Kunci : Elektrooksidasi, air limbah tekstil buatan, perombakan warna*

### Abstract

This study aimed to analyze the efficiency of artificial textile wastewater treatment electrochemical oxidation method at various of pH, table salt concentration and potential. The dye used to make artificial textile wastewater consists of remazol red, yellow blue and black. Electro oxidation reactor has dimensions of length, width and height of 50 cm x 35 cm x 25 cm respectively. Eight carbon electrode (4 anode and cathode 4) are immersed in the reactor with 10 cm distance between the electrodes. Electrochemical oxidation process was set for 60 minutes with a variation of pH 4 to pH 10, the concentration of table salt of 2-10 g/L of textile wastewater and applied potential variation of 10-24 volts. The results showed that artificial textile waste take place optimally at pH initial waste is 9 and the concentration of tabel salt is 9 g/L Color removal efficiency of 95.06% is achieved by using a 10 volt potential, while 99.75% use a 24 volt potential within 60 minutes.

*Key words: Electro oxidation, textile wastewater, colour degradation*

### 1. Pendahuluan

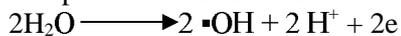
Penggunaan zat warna pada pewarnaan tekstil didominasi oleh zat warna sintetik dimana sekitar 70% dari zat warna digunakan merupakan golongan azo yang karsinogenik, *recalsitran* terhadap perlakuan kimia dan potolitik (Blackburn dan Burkinshaw, 2002). Hasil

kajian Sastrawidana dan Sukarta (2011), melaporkan bahwa air limbah yang dihasilkan industri pencelupan tekstil berada pada katagori toksik sehingga sangat berpotensi mencemari lingkungan jika dibuang langsung tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Disamping itu, keberadaan zat warna dalam air juga

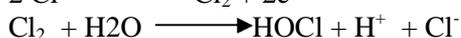
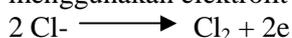
menghambat penetrasi sinar matahari ke dalam air sehingga mengganggu aktivitas fotosintesis mikroalga. Dampak lanjutannya adalah pasokan oksigen dalam air menjadi berkurang dan memicu meningkatnya aktivitas mikroorganisme anoksik-anaerob yang menghasilkan produk berbau tak sedap (Montano 2007).

Beberapa teknologi pengolahan air limbah tekstil telah dikembangkan seperti cara kimia menggunakan metode *advanced oxidation process* (AOP) dan elektrooksidasi, cara fisika dengan filtrasi membran, adsorpsi dan koagulasi serta cara biologi menggunakan mikroorganisme terutama bakteri dan jamur. Sastrawidana, *et al.* 2012 merancang model pengolahan air limbah tekstil dengan jamur *Polyporus* teramobil pada serbuk gergaji kayu. Namun belum bisa efektif diterapkan pada skala lapang karena dianggap terlalu susah operasional dan pemeliharannya.

Pengolahan air limbah secara *Electrochemical oxidation* menggunakan dua jenis elektroda yaitu anoda (elektroda negatif) dan katoda (elektroda positif) yang tercelup dalam larutan elektrolit selanjutnya diberi potensial tertentu sehingga terjadi proses reaksi redoks. *Electrochemical oxidation* berlangsung melalui dua cara yaitu oksidasi langsung (*direct oxidation*) dan oksidasi tak langsung (*indirect oxidation*). Pada oksidasi langsung, bahan pencemar dioksidasi pada permukaan anoda oleh hidroksi radikal ( $\bullet\text{OH}$ ) yang dihasilkan dari proses elektrolisis air.



Hidroksi radikal selanjutnya mengkonversi bahan organik menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Pengolahan air limbah secara oksidasi tak langsung diawali dari elektrolisis elektrolit menghasilkan oksidator yang mengkonversi bahan pencemar menjadi produk yang kurang toksik. Klorin aktif seperti klorin ( $\text{Cl}_2$ ), asam hipoklorit ( $\text{HOCl}$ ) dan ion hipoklorit ( $\text{OCl}^-$ ) terbentuk pada anoda jika menggunakan elektrolit  $\text{NaCl}$ .



Klorin aktif berperan penting untuk mengoksidasi bahan pencemar menjadi senyawa yang lebih sederhana yang kurang toksik. Metode *electrochemical oxidation* ini merupakan salah satu teknologi pengolahan air limbah yang termasuk kedalam *green technology* karena tidak menggunakan bahan-bahan kimia dari luar dalam proses pengolahan limbah. Metode elektro oksidasi tak langsung menggunakan elektroda inert seperti Pt, Ti/Pt, karbon dan Sb/PbO<sub>2</sub>. Beberapa aplikasi metode ini untuk pengolahan limbah cair diantaranya, Kornienko, G.V. *et al.* 2006, melakukan perombakan fenol menggunakan anoda Pb/PbO dan elektrolit asam. Pada anoda terbentuk OH radikal yang selanjutnya bereaksi dengan oksigen menghasilkan hidrogen peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) yang berperan pada proses oksidasi fenol menghasilkan  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . (2) Murthy, U.N. *et al.* 2011, melakukan pengolahan air limbah tekstil dengan menggunakan elektroda terbuat dari *stainless steel*. Persentase perombakan COD dan warna pada kerapatan arus  $48 \text{ A/m}^2$  yang dihasilkan adalah masing-masing 77% dan 71 %.

Efisiensi perombakan menggunakan metode elektrooksidasi tak langsung sangat dipengaruhi oleh faktor pH dan besarnya potensial, jenis material elektroda yang digunakan, konsentrasi elektrolit dan lama proses perombakan. Terbentuknya salah satu spesi klorin aktif merupakan fungsi pH, dimana pada pH yang tinggi spesi yang dominan adalah  $\text{OCl}^-$  yang merupakan oksidator terbaik dibandingkan dengan  $\text{Cl}_2$  dan  $\text{HOCl}$  (Deborde, M. *et al.* 2008). Disamping pH, terbentuknya klorin ( $\text{Cl}_2$ ) juga diakselerasi oleh potensial yang memadai. Konsentrasi elektrolit memegang peranan penting dalam perombakan limbah secara elektrooksidasi. Zayas, *et al.* (2011) dalam penelitiannya melaporkan bahwa persentase perombakan COD selama 12 menit dengan penambahan variasi konsentrasi  $\text{NaCl}$  (1, 3 dan 5 g/L) adalah 66%, 81% dan 99%. Beberapa persyaratan material elektroda yang digunakan untuk perombakan limbah adalah stabil secara elektrokimia (tahan korosi), inert, stabil secara fisika (kuat),

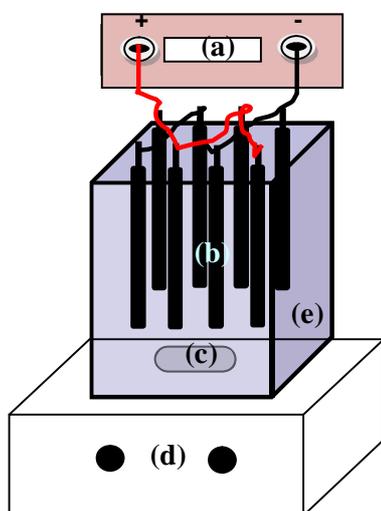
hantaran listriknya merata untuk mengurangi kehilangan energi dan *reproducible*.

Kajian ini difokuskan pada analisis besarnya efisiensi perombakan warna dari air limbah tekstil buatan yang diolah menggunakan metode elektrooksidasi tak langsung menggunakan multi elektroda karbon yang tercelup ke dalam larutan elektrolit. Variabel yang diamati meliputi pengaruh pH, besarnya beda potensial dan konsentrasi garam dapur sebagai sumber ion Cl<sup>-</sup> terhadap besarnya efisiensi perombakan warna air limbah tekstil buatan.

**2. Metode yang diterapkan .**

**2.1. Perancangan Reaktor Elektrooksidasi**

Reaktor elektrooksidasi mempunyai dimensi panjang x lebar x tinggi secara berturut-turut 50 cm x 35 cm x 25 cm. Kedalam reaktor dicelupkan multi elektroda karbon yang terdiri dari 4 anoda dan 4 katoda dengan jarak antar elektroda 10 cm. Rancangan reaktor tampak seperti pada Gambar 1 berikut.



Dimana, (a) sumber arus DC, (b) elektroda karbon, (c) stirer bar (d) magnetic stirrer dan (e) tempat limbah

Gambar 1. Reaktor elektrooksidasi

**2.2 Pembuatan Air Limbah Tekstil Buatan**

Air limbah tekstil buatan dibuat dengan cara mencampurkan 4 macam zat warna tekstil golongan azo yaitu remazol red, remazol yellow, remazol blue dan remazol black dengan konsentrasi total 100 ppm.

**2.3 Perombakan Air Limbah Tekstil Buatan**

**a. Perombakan pada Variasi pH**

Sebanyak 2 liter air limbah tekstil buatan 100 ppm ditempatkan dalam reaktor yang di dalamnya tercelup 8 buah elektroda karbon ( 4 anoda dan 4 katoda) dengan jarak antar elektroda 10 cm. Reaktor ditambahkan 8 gram garam dapur per liter limbah sebagai sumber Cl<sup>-</sup>. dan besarnya beda potensial yang digunakan adalah 12 volt. Air limbah tekstil buatan diolah pada kondisi pH bervariasi yaitu mulai dari pH 4-10. Lama waktu pengolahan adalah 60 menit sambil dilakukan pengadukan menggunakan *magnetik stirrer*. Air limbah tekstil buatan sebelum dan setelah perombakan diukur absoransi menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum 480 nm. Efisiensi perombakan dihitung menggunakan rumus:

$$Efisiensi(\%) = \frac{Abs_{sebelum} - Abs_{sesudah}}{Abs_{sebelum}} \times 100$$

**b. Perombakan pada Variasi Konsentrasi Garam Dapur**

Sebanyak 2 liter air limbah tekstil buatan 100 ppm ditempatkan pada reaktor dan dikondisikan pada pH optimum yang diperoleh dari perlakuan perombakan variasi pH dengan menambahkan asam klorida untuk mengkondisikan asam dan natrium hidroksida untuk mengkondisikan basa. Selanjutnya, air limbah diolah dalam reaktor selama 60 menit dengan besarnya beda potensial 12 volt. Proses pengolahan dilakukan variasi penambahan garam dapur yaitu 4 sampai 10 gram per liter limbah sambil dilakukan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer*. Hasil perombakan dianalisis efisiensi perombakan warnanya dengan mengukur

absorbansi air limbah sebelum dan setelah perombakan menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang 480 nm.

### c. Perombakan pada Variasi Beda Potensial

Sebanyak 2 liter air limbah tekstil buatan 150 ppm ditempatkan pada reaktor dan dikondisikan pada pH dan penambahan garam dapur sesuai dengan kondisi optimum yang diperoleh dari perlakuan perombakan variasi pH dan perlakuan variasi penambahan garam dapur. Selanjutnya, air limbah tersebut diolah dalam reaktor selama 60 menit dengan variasi beda potensial yaitu 10 volt-24 volt. Proses pengolahan sambil dilakukan penggojogan menggunakan magnetik stirer Hasil perombakan dianalisis efisiensi perombakan warnanya dengan mengukur absorbansi air limbah sebelum dan setelah perombakan menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang 480 nm.

## 3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

### 3.1 Hasil Penelitian

#### Perombakan pada Variasi pH

Perombakan air limbah tekstil buatan 2000 mL 100 ppm dalam rektor menggunakan elektrolit pendukung berupa garam dapur sebanyak 8 gram per liter air limbah sebagai sumber ion Cl<sup>-</sup>. Efisiensi perombakan diberbagai kondisi pH limbah awal 4-11 dengan lama waktu perombakan 60 menit dan besarnya beda potensial 12 V disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Efisiensi perombakan limbah tekstil buatan pada variasi pH awal

pH	Abs awal	Abs akhir	Efisiensi (%)
4	0,360	0,039	89,17
5	0,360	0,035	90,28
6	0,360	0,034	90,56
7	0,360	0,033	90,83
8	0,360	0,031	91,39
9	0,360	0,016	95,56
10	0,360	0,015	95,83
11	0,360	0,022	93,89

Tabel 1 menunjukkan bahwa efisiensi perombakan mengalami peningkatan pada

kondisi pH awal air limbah tekstil buatan dari pH 4 sampai pH 9, selanjutnya mengalami sedikit penurunan setelah pH dinaikkan menjadi 11. Efisiensi perombakan optimal dicapai pada kondisi limbah awal sebesar 9.

Efisiensi perombakan air limbah tekstil buatan 2000 mL 100 ppm yang diolah dalam reaktor pada variasi penambahan garam dapur (2-10 gram per liter limbah) selama 60 menit disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Efisiensi perombakan diberbagai variasi penambahan garam dapur

Penambahan garam dapur (g/L limbah)	Abs awal	Abs akhir	Efisiensi (%)
2	0,360	0,325	9,72
3	0,360	0,274	23,89
4	0,360	0,231	35,83
5	0,360	0,140	61,11
6	0,360	0,090	75,00
7	0,360	0,031	91,39
8	0,360	0,015	95,83
9	0,360	0,009	97,50
10	0,360	0,008	97,78

Tabel 2 memperlihatkan bahwa penambahan garam dapur semakin banyak menghasilkan efisiensi perombakan warna yang semakin tinggi. Pada penambahan garam dapur 2 sampai 9 gram per liter limbah dengan konsentrasi 100 ppm memperlihatkan kenaikan efisiensi perombakan cukup tinggi selanjutnya penambahan dari 9 gram menjadi 10 gram menghasilkan kenaikan efisiensi yang relatif kecil

Limbah tekstil buatan yang diolah dalam reaktor elektrooksidasi pada variasi beda potensial adalah 150 ppm. Efisiensi perombakan yang dihasilkan disajikan pada Tabel 3.

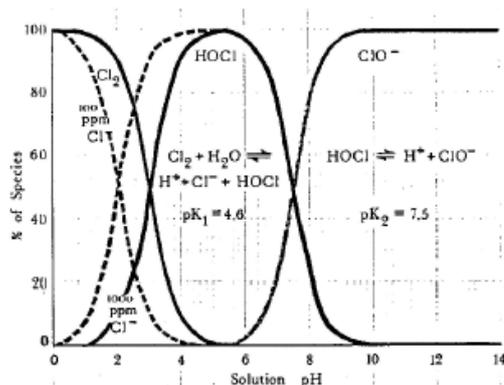
Tabel 3. Efisiensi perombakan pada variasi beda potensial.

Beda potensial (Volt)	Abs awal	Abs akhir	Efisiensi (%)
10	0,405	0,020	95,06
12	0,405	0,016	96,05
15	0,405	0,011	97,28
18	0,405	0,009	97,78
21	0,405	0,007	98,27
24	0,405	0,001	99,75

Tabel 3 menunjukkan semakin tinggi beda potensial yang digunakan untuk merombak menghasilkan efisiensi yang semakin tinggi. Namun dalam waktu 60 menit, perombakan dengan potensial 10 Volt dibandingkan dengan 24 Volt hanya menghasilkan peningkatan efisiensi sekitar 4%.

### 3.2. Pembahasan

Pada proses perombakan secara elektrooksidasi, bahan pencemar dioksidasi oleh oksidator yang dihasilkan dari proses elektrolisis elektrolit yang ditambahkan. Pada penelitian ini menggunakan larutan garam dapur sebagai sumber ion  $Cl^-$  sebagai elektrolit pendukung. Oksidasi ion  $Cl^-$  di anoda menghasilkan  $Cl_2$  dan bereaksi dengan air menghasilkan HOCl. HOCl merupakan asam lemah dan akan terurai sebagian menghasilkan  $OCl^-$ . Distribusi atau konsentrasi masing-masing spesi ( $Cl_2$ , HOCl dan  $OCl^-$ ) pada kestimbangan dipengaruhi oleh pH. Pada pH yang cukup basa menyebabkan klorin aktif dalam air dominan dalam bentuk HOCl dan akan berubah menjadi  $OCl^-$  dengan meningkatnya kebasaaan medium sistem sedangkan pada kondisi asam, klorin aktif dominan berada dalam bentuk  $Cl_2$ . Proporsi  $Cl_2$ , HOCl dan  $OCl^-$  diberbagai pH seperti tampak pada Gambar 2.



Gambar 2. Perubahan spesi klorin sebagai fungsi dari pH

Potensial oksidasi dari  $Cl_2$ , HOCl dan  $OCl^-$  secara berturut-turut adalah 1,36V; 1,49V dan 0,89 V. Data potensial reduksi standar ( $E^0$ ) menunjukkan bahwa semakin besar nilai potensial reduksi standar maka lebih mudah spesi tersebut

mengalami reaksi reduksi atau sifat oksidatornya semakin kuat dan sebaliknya. Dengan demikian, asam hipoklorus (HOCl) merupakan oksidator yang lebih kuat dibandingkan dengan ion klorit ( $OCl^-$ ) dan klorin ( $Cl_2$ ). Perombakan air limbah tekstil akan berlangsung efektif dan efisien pada kondisi awal limbah cukup basa Hal ini menyebabkan efisiensi perombakan perombakan menjadi menurun dan memerlukan waktu yang lebih lama Dengan pengaturan kondisi pH awal cukup basa memungkinkan terbentuknya spesi HOCl secara dominan. Pada penelitian ini, efisiensi perombakan yang optimal diperoleh pada kondisi pH limbah awal sebesar 9. Dengan kondisi pH awal air limbah sebesar 9, pada proses redoks akan menghasilkan ion  $H^+$  sehingga kondisi pH air limbah menjadi turun mencapai kondisi pH terbentuknya HOCl secara maksimal (pH 4-8,5). Temuan ini tampaknya sejalan dengan hasil penelitian Wang, *et al.*(2012) yang melaporkan bahwa penurunan konsentrasi amonia yang diolah secara elektrooksidasi pada kondisi pH limbah awal 3, 5 dan 7 dari 100 mg/L secara berturut-turut menjadi 3 mg/L, 0,8 mg/L dan 0 mg/L dengan lama waktu pengolahan 120 menit sedangkan pada kondisi pH limbah awal 9 mampu menurunkan konsentrasi amonia dari 100 mg/L menjadi 0 mg/L dengan lama waktu pengolahan 60 menit.

Disamping pH efisiensi perombakan bahan organik termasuk bahan pewarna tekstil juga dipengaruhi oleh jumlah atau konsentrasi elektrolit yang ditambahkan. Konsentrasi garam dapur sebagai sumber ion  $Cl^-$  yang mampu memberikan efisiensi perombakan optimum adalah 9 gram per liter air limbah tekstil buatan 100 ppm dengan efisiensi perombakan sebesar 97,39% dalam waktu pengolahan 60 menit. Pada penambahan konsentrasi garam dapur yang rendah (2 g/L) hanya mampu menghasilkan efisiensi perombakan 9,78% sedangkan penggunaan garam dapur 9 g/L efisiensinya mencapai 97,39%. Hal ini disebabkan oleh ketersediaan ion  $Cl^-$  sebagai elektrolit pendukung. Pada konsentrasi garam dapur

yang rendah atau kurang mencukupi akan menyebabkan rendahnya konsentrasi kolrin aktif yang tersedia sedangkan pada penambahan garam dapur yang memadai menghasilkan spesi  $Cl_2$ , HOCl dan  $OCl^-$  terutama HOCl yang cukup untuk mengkonversi bahan organik menjadi produk yang lebih sederhana. Pengkajian terhadap pengaruh penambahan konsentrasi NaCl terhadap laju perombakan COD dan warna pada *landfill leachate* secara elektrokodisasi juga diteliti oleh Musa *et al.*(2015). Hasilnya, laju perombakan COD dan warna pada reactor yang dikondisikan pH 8,5 dan potensial 10V tanpa adanya penambahan NaCl hanya 27% dan 39% sedangkan dengan penambahan NaCl 0,58% laju perombakan COD dan warna secara berturut-turut menjadi 40% dan 50%.

Efisiensi perombakan warna pada pengolahan air limbah tekstil secara elektrokodisasi dipengaruhi oleh besarnya beda potensial yang digunakan. Pengolahan selama 60 menit dengan potensial 10 Volt menghasilkan efisiensi perombakan warna 95,06% sedangkan dengan potensial 24V efisiensi perombakannya meningkat menjadi 99,75%. Hasil penelitian ini tampaknya sejalan dengan hasil penelitian Musa, *et al.*(2015) yang melaporkan bahwa efisiensi perombakan COD dan warna pada sampel *landfill leachate* secara elektrokodisasi dengan potensial 5 Volt adalah 11% dan 39% sedangkan pada pemberian potensial 20 Volt efisiensi perombakan COD menjadi 90% sedangkan efisiensi perombakan warna mendekati 100% dalam waktu elektrolisis 105 menit.

#### 4. Simpulan

Berdasarkan uraian hasil penelitian, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Efisiensi perombakan air limbah tekstil buatan dengan metode elektrokodisasi menggunakan multi elektroda karbon dipengaruhi oleh faktor pH awal limbah, konsentrasi garam dapur sebagai sumber ion  $Cl^-$  dan besarnya beda potensial yang digunakan.
2. Efisiensi perombakan warna dari air limbah tekstil buatan secara

elektrokodisasi dicapai pada kondisi pH awal 9, penambahan konsentrasi garam dapur 9 gram per liter limbah dan beda potensial untuk menghasilkan efisiensi perombakan warna 96,05 adalah 12 Volt dengan lama waktu pengolahan adalah 60 menit.

#### 5. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada DRPM-Dikti atas dukungan dana yang diberikan kepada peneliti serta Universitas pendidikan Ganesha melalui lembaga penelitian dan pengabdian kepada masyarakat atas layanan administrasi dalam pengambilan data

#### 6. Daftar Pustaka

- Blackburn, R. S., Burkinshaw. S. M, (2002). A Greener to cotton dyeing with excellent wash fastness. *Green Chem.* 4: 47-52
- Deborde, M., Von Gunten, U. (2008). Reaction of Chlorine with Inorganic and Organic Compounds During Water Treatment- Kinetics and Mechanisms: Critical Review. *Water Research.* 42: 13-51.
- Kornienko, G. V., Chaenko, N.V., & Kornienko, V.L. (2006). Indirect Electrochemical Oxidation of Phenol by Hydrogen Peroxide in situ Generated from Oxygen in a Gas Diffusion Electrode in Acid and Neutral Media. *Chemistry for Sustainable Development.* 14: 19-22.
- Montano, J. G. (2007). Combination Of Advanced Oxidation Processes And Biological Treatments For Commercial Reactive Azo Dyes Removal [Thesis]. Universitas Autonoma de Barcelona. Bellaterra
- Murthy, U. N., Rekha, A.B, & Bhavya, J.G. Performance of Electrochemical Oxidation in Treating Textile Dyes Wastewater by Stainless Steel Anode. 2011. *International Journal of Environmental Science and Development.* 2(6) : 484-487.

- Musa, Z. H., Othman, M. R., & Abdullah, Md. P. 2015. Electrochemical oxidation of Landfill Leachate: Investigation of Operational Parameters and Kinetics using Graphite-PVC Composite Electrode as Anoda. *J. Braz. Chem. Soc.* 6(5) : 939-948.
- Sastrawidana & Sukarta. (2011). Uji Toksisitas Air Limbah Tekstil Hasil Pengolahan pada Reaktor Biofilm Konsorsium Bakteri Anaerob-Aerob Menggunakan Ikan Nila. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Sains & Humaniora.* 5(3) : 271-282
- Sastrawidana., Siti Maryam., & Sukarta. 2012. Perombakan Air Limbah Tekstil Menggunakan Jamur Pendegradasi Kayu Jenis Polyporus sp. Teramobil pada Serbuk Gergaji Kayu. *Jurnal Bumi Lestari.* 12 (2): 382-389
- Wang, Y., Xu Guo., Jinglu Li., Yang, Y., Lei, Z. & Zhang, Z. (2012). Efficient Electrochemical Removal of Ammonia with Various Cathodes and Ti/RuO<sub>2</sub>-Pt Anode. *Open Journal of Applied Science.* 2: 241-247.
- Zayas, T., Picaso, M. & Salgado, L. (2011). Removal of Organic Matter from Paper Mill Effluent by Electrochemical Oxidation. *Journal of Water Resource and Protection.* 3: 32-40.