

# STUDI PENGARUH TEGANGAN DAN *FLOWRATE* GAS TERHADAP KONSENTRASI COD DAN WARNA PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI TEKSTIL DENGAN TEKNOLOGI PLASMA

Febriandi Sucipta . Wiharyanto Oktiawan \*) . Zaenul Muhlisin \*\*)

Email : febriandisucipta@hotmail.co.id

---

## Abstrak

*The textiles wastewater has high concentrate of COD and Color. The initial of COD concentration is 3250 mg/L and concentration of color is 2727 PtCo. The wastewater treatment with plasma technology has several advantages compares to other treatments. This research has been conducted to analyze the effects of voltage (9,11,13kV) and oxygen flowrate (0.25,0.5,1.0 L/m) on COD and color concentration. The pretreatment on this research was using filter papper and 5 minutes aeration with pure oxygen. Based on this research and discussion of qualitative and quantitative statistical test, voltage and flowrate variations affect the concentration of COD and color. The greater voltage and flowrate are used, the smaller COD and color concentration being resulted after the process. The highest removal efficiency occures at 13 kV of voltage and 1 L/min of flowrate. By this condition, removal efficiency of COD is 68% with a final concentration 833 mg/L and efficiency of color parameters is 71% with final concentration 455 PtCo.*

**Keywords :** Plasma, Voltages, Flowrate, Textile

---

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri tekstil di Indonesia mempunyai hubungan timbal balik terhadap perekonomian masyarakat dan pencemaran lingkungan hidup. Air limbah yang mengandung *pollutant* perlu dilakukan pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan. Teknologi plasma dapat digunakan untuk mengolah limbah cair. Teknologi ini tidak menggunakan bahan kimia, lebih sedikit dalam menghasilkan lumpur, lebih praktis dalam operasional serta tidak membutuhkan lahan yang luas. (PT.Plasma Centre Indonesia). Pada penelitian kali ini plasma dibentuk dalam fase gas yang membutuhkan tegangan listrik yang lebih rendah (9-21 kV) serta ketinggian air dijaga agar permukaan air tidak kontak langsung dengan elektroda.

Faktor penting dalam proses pembentukan lucutan atau *electrical discharge* adalah tegangan listrik (daya) yang digunakan dan flowrate gas oksigen yang masuk reaktor. Peningkatan tegangan terus menerus, elektron-elektron yang bergerak menuju anoda memiliki energi yang cukup untuk mengionisasi partikel gas yang ditumbuknya (Nur,2011).

Besarnya *Flowrate* gas oksigen yang digunakan dalam pengolahan juga berpengaruh dalam proses pembentukan species aktif terutama gas ozon yang terbentuk (Zheng,2012).

\*) Dosen Program Studi Teknik Lingkungan FT Universitas Diponegoro

\*\*\*) Dosen Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro

Berdasarkan uji pendahuluan efisiensi penyisihan COD meningkat pada variasi tegangan 9-12 kV dan dan efiesni penyisihan COD menurun pada peningkatan tegangan 12-20 kV. Sehingga variasi tegangan yang digunakan adalah 9-13 kV. Pada reaktor ini ozone sudah terbentuk pada tegangan 9 kV dan semakin menyengat baunya pada tegangan 13 kV. Penelitian sebelumnya (Indrasarimawati, 2008) memvariasikan *flowrate* oksigen sebesar 0.5 , 1.5 , 2.5 L/menit dan variasi yang terpilih berada pada *flowrate* 0.5 L/menit. Sehingga perlu dilakukan penelitian dengan nilai *flowrate* yang lebih kecil yaitu pada rentang 0.25 - 1.0 L/menit.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh *flowrate* oksigen dan tegangan listrik terhadap konsentrasi COD dan warna pada limbah tekstil yang dominan mengandung zat warna indigo.

## 2. Metode penelitian

### 2.1 Bahan

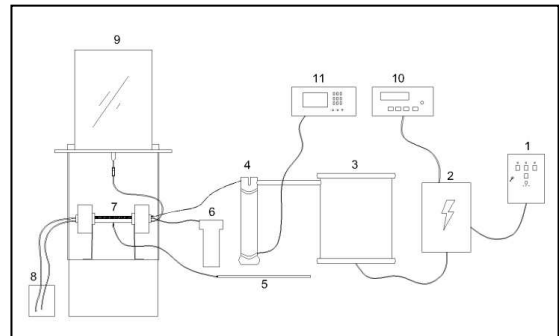
Bahan yang digunakan adalah air limbah industri tekstil dengan karakteristik seperti pada tabel 1, kawat stainlesssteel, dan oksigen murni.

Tabel 1  
Karakteristik Air Limbah Tekstil

Parameter	Konsentrasi
COD (mg/L)	3250
Warna (Ptco)	2727
TSS (mg/L)	1100
pH	11,71

### 2.2 Alat

Rangkaian alat yang digunakan untuk pelaksanaan penelitian dengan teknologi plasma terdapat pada gambar 1 dibawah ini :

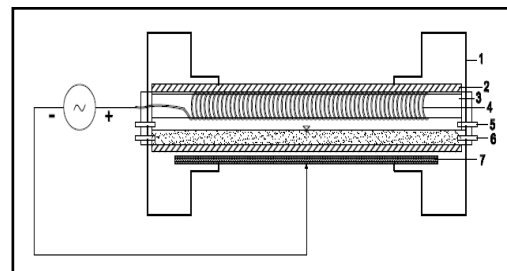


Gambar 1. Rangkaian alat plasma

Keterangan:

1. Sumber tegangan AC
2. *regulator* penaik tegangan
3. trafo *step up* 0-100 Kv
4. kapasitor ukur
5. *ground* (lempengan tembaga)
6. Tabung Gas Oksigen
7. reaktor plasma
8. wadah penampung air hasil pengolahan
9. wadah penampung air sebelum pengolahan
10. *operating terminal*
11. *digital measurement instrument*

Geometri reaktor yang digunakan dalam penelitian kali ini terdapat pada gambar 2 dibawah ini :



Gambar 2. Geometri reaktor

Keterangan :

1. teflon
2. *pyrex*
3. teflon
4. kawat *elektroda*
5. inlet Udara
6. inlet Air limbah
7. lempengan *Stainlesssteel*

\*) Dosen Program Studi Teknik Lingkungan FT Universitas Diponegoro

\*\*) Dosen Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro

### 2.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan teknologi plasma. Plasma dibangkitkan di udara. Gas yang digunakan untuk pembangkitan plasma adalah gas oksigen murni. Pretreatment yang dilakukan pada air limbah adalah filtrasi menggunakan kertas saring dan aerasi dengan oksigen selama 5 menit sebelum limbah masuk ke dalam reaktor. Hal ini bertujuan untuk mengurangi jumlah padatan tersuspensi yang dapat mengurangi kinerja proses oksidasi dan aerasi dilakukan untuk meningkatkan jumlah oksigen terlarut. Penelitian dilakukan dengan volume sampel tiap variasi 20 ml. Waktu kontak tiap variasi sebesar 10 menit. Waktu kontak dijaga dengan mengontrol debit 1 ml/menit dan menjaga volume limbah dalam reaktor sebanyak 10 ml. Durasi kontak tiap variasi yaitu 20 menit. Pengukuran pH dilakukan setelah limbah melewati plasma.

### 2.4 Metode Analisis

Analisis COD dan warna menggunakan spektrofotometer sedangkan analisis pH menggunakan pH meter. Alat yang digunakan untuk analisa kualitas limbah diantaranya adalah COD reaktor (HACH dengan ketelitian 0,001), spektrofotometer (*Thermo Scientific* dengan ketelitian 0,001) dan pH meter.

## 3. Hasil dan pembahasan

### 3.1 Pretreatment

Tahap *pretreatment* yang dilakukan adalah filtrasi dengan kertas saring dan aerasi dengan oksigen murni selama 5 menit. Filtrasi bertujuan untuk mengurangi zat yang tersuspensi, karena zat yang tersuspensi ini dapat mengganggu proses oksidasi. Aerasi bertujuan untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut didalam air limbah. Semakin banyak oksigen yang terlarut akan semakin banyak ozon yang terbentuk. Hasil uji konsentrasi limbah tertera pada tabel 2 dibawah ini :

Tabel 2

Karakteristik air limbah setelah pretreatment

Tahapan	pH	COD (mg/L)	Warna (PtCo)
Awal	11,71	3250	2727
Filtrasi	11,34	2750	1705
Aerasi	11,21	2583	1591

Dari tabel 2 diatas dapat diketahui bahwa pretreatment berpengaruh terhadap penurunan setiap parameter.

### 3.2 Tahap pengolahan dengan plasma

Pengolahan dengan plasma dilakukan dengan waktu 20 menit dan debit 1 ml/menit untuk setiap variasi tegangan dan *flowrate*. Hasil uji setiap parameter tertera pada tabel 3 dibawah ini :

Tabel 3

Hasil uji konsentrasi limbah setelah pengolahan dengan plasma

Tegangan (kV)	Parameter	Konsentrasi COD (mg/L) dan Warna (PtCo)		
		Flow rate Oksigen		
		0,25 L/m	0,5 L/m	1 L/m
9	pH	10,42	9,52	8,76
	COD	2417	2167	1667
	Warna	1477	1250	909
11	pH	10,14	9,13	8,32
	COD	2083	1883	1250
	Warna	1250	1023	682
13	pH	9,25	8,42	8,12
	COD	1667	1333	833
	Warna	909	795	455

### 3.3 Nilai pH pada setiap perlakuan

Nilai pH diukur setelah limbah keluar dari reaktor plasma. Nilai pH pada setiap variasi tegangan dan *flowrate* tertera pada tabel 4 dibawah ini :

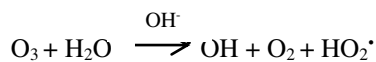
\*) Dosen Program Studi Teknik Lingkungan FT Universitas Diponegoro

\*\*) Dosen Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro

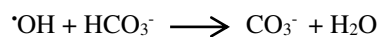
Tabel 4  
Nilai pH pada setiap variasi

Tegangan	Nilai pH		
	Flowrate Oksigen		
	0,25 L/m	0,5 L/m	1 L/m
9 kV	10,42	9,52	8,76
11 kV	10,14	9,13	8,32
13 kV	9,25	8,42	8,12

Pada tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai pH menurun seiring dengan peningkatan tegangan yang diberikan. Penjelasan dari fenomena ini adalah proses oksidasi yang terjadi dalam reaktor plasma akan memutus ikatan-ikatan kompleks dalam limbah menjadi asam-asam ringan. Terbentuknya asam ringan selama pengolahan akan membuat pH limbah semakin menurun. pH sampel limbah setelah melewati proses aerasi adalah sebesar 11,21 (suasana basa). Pada suasana basa proses oksidasi cenderung mendekomposisi  $O_3$  menjadi radikal bebas seperti  $\cdot OH$  (Fitria,2006 dalam Riandini 2006). Dengan reaksi sebagai berikut :

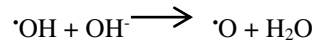


Waktu hidup ozon pada pH tinggi menjadi berkurang dari 20-30 menit menjadi hanya 1 menit (Munter,2001 dalam Riandini,2006). Pada  $pH > 10$  radikal hidroksil atau  $\cdot OH$  akan bereaksi dengan ion bikarbonat ( $HCO_3^-$ ) Ion ini dapat menjadi *radical scavenger* untuk  $\cdot OH$ . Hal ini dapat mengurangi kinerja proses oksidasi (Sugiarto,2002). Berikut adalah reaksinya :



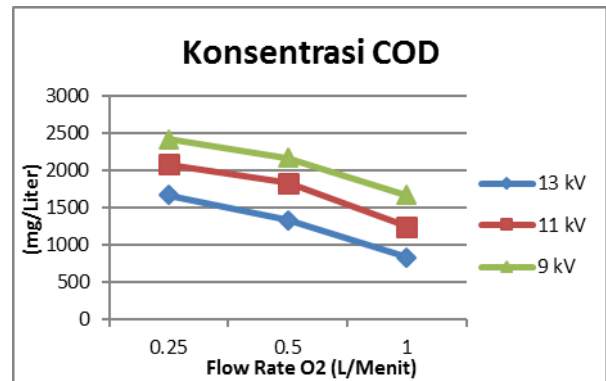
Selain itu Ion  $OH^-$  pada kondisi basa juga berpotensi sebagai *radical scavenger* yang menyebabkan radikal  $\cdot OH$  terdekomposisi menjadi atom oksigen (Zheng,2012) , atom oksigen memiliki potensial oksidatif yang lebih rendah

dibandingkan dengan radikal  $\cdot OH$  (Santos,2007). Reaksinya adalah sbb :



### 3.4 Pengaruh *flowrate* oksigen terhadap konsentrasi COD

Pengaruh *flowrate* oksigen terhadap konsentrasi COD terdapat pada gambar 3 dibawah ini :



Gambar 3. Pengaruh *flowrate* oksigen terhadap konsentrasi COD

Pada gambar 3 dapat dilihat bahwa konsentrasi COD pada grafik cenderung menurun seiring dengan peningkatan *flowrate* udara yang diberikan. Penjelasan dari fenomena ini adalah semakin besar flow rate gas maka akan semakin banyak molekul gas yang melewati zona *discharge* sehingga jumlah species aktif yang dihasilkan juga lebih banyak (Zheng,2012). Semakin banyak jumlah spesies aktif yang terbentuk maka zat organik yang terurai akan semakin banyak sehingga konsentrasi COD menjadi menurun. Pada *flowrate* oksigen 0,25 L/menit konsentrasi COD masih cenderung tinggi penjelasan dari fenomena ini adalah *flowrate* gas yang terlalu kecil menyebabkan laju alir gas di dalam rektor semakin pelan , hal ini menyebabkan terjadinya kerusakan ozon karena gas terlalu lama terpapar oleh lucutan sehingga mengurangi jumlah ozon yang terbentuk didalam reaktor plasma (Zheng , 2012).Hal ini ditandai dengan bau ozon yang kurang pekat pada saat *flowrate* 0,25 L/menit. Pada gambar 4.5 dapat dilihat bahwa konsentrasi COD menurun drastis pada saat

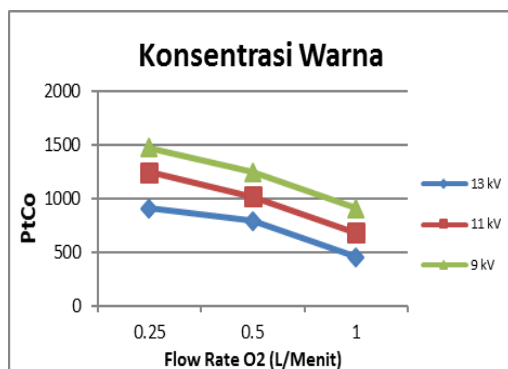
\*) Dosen Program Studi Teknik Lingkungan FT Universitas Diponegoro

\*\*) Dosen Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro

*flowrate* sebesar 1 L/menit. Penjelasan dari fenomena ini adalah *flowrate* yang lebih besar menghasilkan spesies aktif yang lebih banyak dan gelembung ozon yang lebih besar sehingga terjadi turbulensi cairan pada wadah ozonisasi, turbulensi cairan pada wadah ozonisasi membuat penyebaran spesies aktif pada limbah cair lebih merata.

### 3.5 Pengaruh *flowrate* oksigen terhadap konsentrasi warna

Pengaruh *flowrate* oksigen terhadap konsentrasi warna terdapat pada gambar 4 dibawah ini :



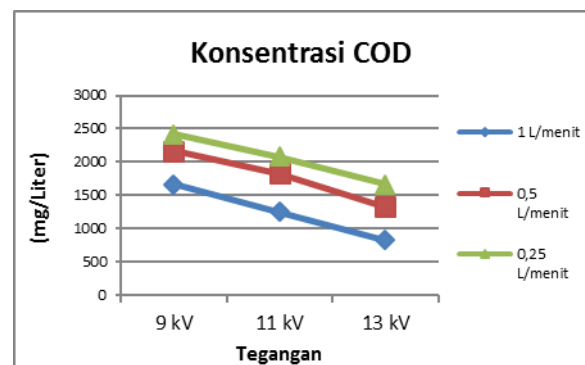
Gambar 4. Pengaruh *flowrate* oksigen terhadap konsentrasi warna

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa konsentrasi warna pada grafik cenderung menurun seiring dengan peningkatan *flowrate* udara yang diberikan. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya (Zheng,2012) menyebutkan bahwa degradasi warna semakin meningkat seiring dengan meningkatnya *flowrate* oksigen. Penjelasan dari fenomena ini adalah semakin besar *flow rate* gas oksigen maka akan semakin banyak molekul gas oksigen yang melewati zona *discharge* sehingga jumlah species aktif yang dihasilkan juga lebih banyak (Zheng,2012). Pada *flowrate* oksigen 0,25 L/menit konsentrasi warna masih cenderung tinggi penjelasan dari fenomena ini adalah ozon yang dihasilkan lebih banyak terdekomposisi menjadi  $\cdot\text{OH}$  radikal (persamaan reaksi 4.5). Radikal hidroksil ini akan mengubah ion  $\text{OH}^-$  menjadi  $\text{O}^\cdot$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  reaksi (persamaan reaksi 4.6). Potensial oksidatif radikal  $\text{O}^\cdot$  lebih

rendah dibandingkan  $\cdot\text{OH}$  radikal. Pada *flowrate* 1 L/menit degradasi warna meningkat karena ozon yang dihasilkan lebih banyak sehingga cukup untuk mengubah ion  $\text{OH}^-$  hal ini menyebabkan turunya nilai pH sehingga ozon mempunyai waktu hidup yang lebih lama untuk mendegradasi warna. Hal ini sesuai dengan pernyataan munter pada tahun 2001.

### 3.6 Pengaruh tegangan terhadap konsentrasi COD

Pengaruh tegangan terhadap konsentrasi COD terdapat pada gambar 5 dibawah ini :



Gambar 5. Pengaruh tegangan terhadap konsentrasi COD

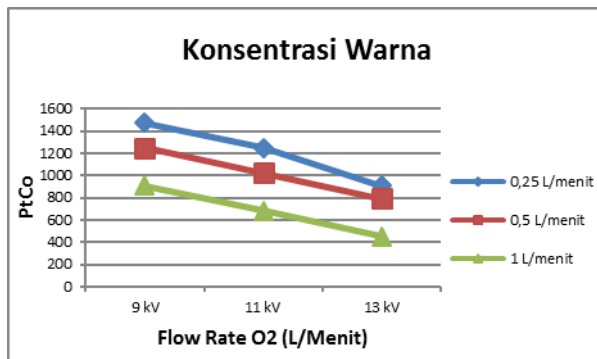
Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa konsentrasi warna pada grafik cenderung menurun seiring dengan peningkatan tegangan listrik yang diberikan. Penjelasan dari fenomena ini adalah semakin besar tegangan yang diberikan jumlah spesies aktif yang terbentuk akan semakin banyak. Hal ini terjadi karena muatan yang terbentuk dalam reaktor juga semakin banyak. Pada tegangan 13 kV konsentrasi COD mengalami penurunan yang drastis penjelasan dari fenomena ini adalah lucutan listrik yang mencapai permukaan air, muatan memiliki kecepatan yang tinggi sehingga terjadi tumbukan dengan molekul air sehingga radikal hidroksil akan langsung terbentuk.

\*) Dosen Program Studi Teknik Lingkungan FT Universitas Diponegoro

\*\*\*) Dosen Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro

### 3.7 Pengaruh tegangan terhadap konsentrasi warna

Pengaruh tegangan terhadap konsentrasi warna terdapat pada gambar 6 dibawah ini :



Gambar 6. Pengaruh tegangan terhadap konsentrasi warna

Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa konsentrasi warna pada grafik cenderung menurun seiring dengan peningkatan tegangan listrik yang diberikan. Penjelasan dari fenomena ini adalah semakin besar tegangan yang diberikan menyebabkan semakin banyaknya ozon yang terbentuk. Hal ini ditandai dengan semakin menyengatnya bau amis ozon saat peningkatan tegangan. Sesuai dengan penelitian (Wei,2013) yang menyebutkan bahwa peningkatan tegangan akan menyebabkan semakin banyak ozon yang terbentuk dalam fase gas. Pada penelitian (Muhlisin,2009) menyebutkan bahwa semakin banyak ozon yang terbentuk maka akan semakin banyak ozon yang terlarut didalam air. Semakin banyak ozon yang terlarut maka reaksi penghilangan warna akan semakin meningkat (Nugroho,2005).

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

### 4.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Dari hasil analisa dapat disimpulkan bahwa konsentrasi COD dan warna semakin menurun seiring dengan peningkatan besarnya *flowrate* oksigen (0.25-1.0 L/menit).
2. Dari hasil analisa dapat disimpulkan bahwa konsentrasi COD dan warna semakin menurun seiring dengan peningkatan tegangan (9,11, dan 13 kV).
3. Efisiensi penyisihan tertinggi terdapat pada tegangan 13 kV dan *flowrate* oksigen sebesar 1 L/menit dengan penurunan konsentrasi COD sebesar 68% dan Warna sebesar 71%.

### 4.2 Saran

Penelitian ini perlu dilanjutkan untuk meningkatkan efisiensi reaktor adapun hal-hal yang dapat dilakukan adalah :

1. Memperbesar tegangan 14-20 kV.
2. Memperbesar *flowrate* 1.5 - 3 L/menit.
3. Memperpanjang tabung pyrex agar volume limbah yang tertampung di dalam reaktor semakin besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G. 1984. *Metoda Penelitian Air*. Surabaya : Usaha Nasional.
- Anonim 1, 2014. <http://www.fusionfuture.org>. diakses pada 9 juni 2014
- Anonim 2, 2014. <http://ceee.hust.edu.cn/plasma/about.htm> diakses pada 9 juni 2014
- Anonim 3, 2014. <http://www.tikp.co.uk> Diakses pada 9 juni 2014
- Anonim 4, 2014. <http://www.pnas.org/content/100/6/3013/F1.expansion.html>. diakses pada 22 agustus 2014
- Anonim 5, 2014. <http://tool-free.blogspot.com/2012/11/penghilangan-kanji-desizing-proces.html> .diakses pada 22 agustus 2014
- Anonim 6, 2013. <http://ginanjaralmuhandis.wordpress.com>

\*) Dosen Program Studi Teknik Lingkungan FT Universitas Diponegoro

\*\*) Dosen Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro

- [om/2013/03/12/resin/](#). diakses pada 3 maret 2013.
- Fridman, Alexander. 2008. *Plasma Chemistry*. Cambridge University. New York.
- Hadiwibowo, Wisnu.2003. *Studi Penggunaan Carbon Aktif Sebagai Adsorben Zat Warna Acrylamides pada Limbah Industri Pencelupan Tekstil*. Teknik Lingkungan. Semarang : Universitas Diponegoro
- Indrasarimmawati. 2008. *Penurunan Warna COD dan TSS Limbah Cair Industri Tekstil Menggunakan Teknologi Dielectric Barrier Discharge dengan Variasi Tegangan dan Flowrate Oksigen..* Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro. Semarang.
- Malik,et,all.2013.*Plasma for Water Treatment*. Centre for Plasma and Laser Engineering The SzwalskiInstitute of Fluid-Flow Machinery Polish Academy of Sciences Gdaosk.Poland.
- Muhlisin, Zaenul., dkk.2009. *Aplikasi Plasma Lucutan Berpenghalang Dielektrik pada Peningkatan Kualitas Air dengan Mengalirkan Air Secara Langsung dalam Reaktor Berkonfigurasi Elektroda Spiral-Silinder*. Fisika Universitas Diponegoro. Semarang
- Munter,Rein.2001.*Advanced Oxidation Processes-Current Status and Prospect*.Department of Chemical Engineering, Tallinn Technical University.
- Nur, Muhammad. 2011. *Fisika Plasma dan Aplikasinya*: Universitas Diponegoro. Semarang.
- PT.Sucofindo (Persero). 1999. *Penyusunan Database Dampak Lingkungan dari Kegiatan Industri*. Bandung : Lembaga Pengabdian Kepada Masyarakat Institut Teknologi Bandung.
- PT.Plasma Centre Indonesia. 2014. *Plasma Advantage*. <http://www.plasma-centre.com>
- Riandini, Yoel Migei. 2006. *Penggunaan Teknologi Plasma (Electrical Discharge) Pada permukaan Air dengan Sistem Non-contact Electrode untuk Menurunkan Warna, pH, TSS, COD dalam Limbah Cair Industri Pencelupan Tekstil*. Skripsi. Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro. Semarang.
- Ricardo.2014.*Comparative Degradation of Indigo Carmine by Electrochemicaloxidation and Advanced Oxidation*. Universidad Autónoma. Departamento de Química, Av. México.
- Nugroho, Rudi., Iqbal. 2005. *Pengolahan Air Limbah Berwarna Industri Tekstil Dengan Proses AOPs*. BPPT : Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan
- Sugiarto, Anto Tri. 2002. *Atasi Polusi dengan Plasma*. Tangerang: Pusat Penelitian KIM-LIPI.
- Tahara , Mitsuru , Masaaki Okubo.2014.*Detection of Free Radicals Produced by a Pulsed Electrohydraulic Discharge Using Electron spin Resonance*. Environment and Chemistry Department, Technology Research Institute of Osaka Prefecture.Japan.
- Taranggono, Agus. Hari S., U Rachmat. 1994. *Fisika*. Jakarta : PT.Bumi Aksara
- Tchobanoglous, G.et,all. 2003. *Wastewater Engginering Treatment and Reuse*.4th edition. New York : Metcalf and Eddy, Inc Mc Graw Hill.
- Teke, Sosiawati, dkk. 2014. *Produksi Ozon dalam Reaktor Dielectric Barrier Discharge Plasma (DBDP) Terkait Panjang Reaktor dan Laju Alir Udara Serta Pemanfaatanya untuk Menjaga*

\*) Dosen Program Studi Teknik Lingkungan FT Universitas Diponegoro

\*\*\*) Dosen Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro

- Kualitas Asam Amino Ikan.*  
Universitas Diponegoro. Semarang.
- Verma ,Akshaya Kumar,dkk.2012. *A Review on Chemical Coagulation/Flocculation Technologies for Removal of Colour From Textile Wastewaters.*Department of Civil Engineering, School of Infrastructure, Indian Institute of Technology Bhubaneswar.India.
- Wei.L.-S., dkk. 2014.*Experimental and Theoretical Study of Ozone Generation in Pulsed Positive Dielectric Barrier Discharge.* School of Environmental & Chemical Engineering Nanchang University. China.
- Zheng Jiangtang, Bo Jiang,dkk. 2013. *Electrical Discharge Plasma Technology for Wastewater Remediation.*University of Petroleum.China
- Zhou, H., D.W. Smith. 2000. *Advanced Technologies in Water and Wastewater Treatment.* Journal Environmental Enginering Science. Canada : NRC. Research Press

\*) Dosen Program Studi Teknik Lingkungan FT Universitas Diponegoro

\*\*\*) Dosen Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro