

# STUDI PENURUNAN COD DAN WARNA DENGAN TEKNOLOGI PLASMA PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI TEKSTIL DENGAN VARIASI TEGANGAN DAN BANYAKNYA SIRKULASI

Rizky Fajar Heryanto\*); Badrus Zaman\*\*); Zaenul Muhlisin\*\*)

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Uversitas Diponegoro  
Jl. Prof. H. Sudarto, S.H Tembalang - Semarang, Kode Pos 50275 Telp. (024)76480678, Fax (024) 76918157  
Website : <http://enveng.undip.ac.id> - Email: [enveng@undip.ac.id](mailto:enveng@undip.ac.id)

## Abstract

*The observation that has been done was about wastewater treatment from the textile industry using plasma technology. This study was aimed to determine the effect of the decreasing in the concentration of COD and color in textile industry wastewater. Plasma reactor that used was non-contact electrode system. Active electrode spiral that made of copper wire, while the semicircle of aluminum sheet electrode as the passive electrode. The dielectric material that used was a pyrex. The power generation using AC voltage of 9-11 kV and a frequency of 50 Hz. Circulation that was done 1-7 times of circulation. The initial waste has been given pre-treatment aeration and then the results of pre-treatment aeration were used as the influent wastewater to be treated by plasma technology. The results showed that maximum COD removal efficiency was about 65%, while the color was about 67%. The concentration of COD and the color concentration decreased with the increasing voltage applied and the large circulation that has been done. This is suggests that the magnitude of the voltage and the amount of circulation affected on the decreasing of the concentration of COD and the color.*

*Keywords : Wastewater, Textile Industry, Plasma, COD, Colour.*

## A. Pendahuluan

Perkembangan industri tekstil yang semakin pesat mempunyai dampak positif dan negatif, dampak positifnya adalah terpenuhinya kebutuhan sandang masyarakat, membaiknya perekonomian masyarakat karena tersedianya lapangan pekerjaan. Salah satu dampak negatifnya adalah munculnya produk sampingan yaitu limbah cair yang apabila tidak ditangani terlebih dahulu akan membahayakan lingkungan dan makhluk hidup disekitarnya [2]. Limbah cair merupakan

limbah yang paling banyak dihasilkan dalam industri tekstil dan paling berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan. Proses produksi industri tekstil yaitu Penghilangan kanji (*Desizing*), Penggelantangan Kain (*Scouring*), Pemucatan (*Bleaching*), dan Pencelupan (*Dyeing*). Proses pewarnaan dan pembilasan menghasilkan air limbah yang berwarna dengan COD tinggi, dan bahan-bahan lain dari zat warna yang dipakai. [4]

Efluen akhir limbah industri tekstil pasti menunjukkan intensitas warna tinggi.

Hal ini tentu saja membawa masalah dalam pengolahan limbah cair industri tekstil [6]. Secara umum limbah cair industri tekstil PT Apac Inti Corpora mempunyai nilai COD dan warna yang tinggi. Konsentrasi COD yang jauh melebihi baku mutu yaitu nilai COD sebesar 3333 mg/L dan warna yang cukup tinggi yaitu 2772 PtCo.

Pada umumnya, penyisihan senyawa organik dilakukan dengan unit pengolahan biologi sedangkan penurunan kadar warna menggunakan unit pengolahan kimia-fisika. Seiring dengan kompleksnya limbah yang dihasilkan dan tingginya biaya operasional, pengolahan secara kimia-fisika dan biologi memiliki kelemahan. Adapun teknologi yang sekarang mulai dikembangkan adalah teknologi plasma. Teknologi plasma merupakan salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mengatasi kekurangan pada proses pengolahan limbah yang sudah ada. 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 [7].

## B. Metodologi

Penelitian ini meliputi tiga tahapan, yaitu tahap persiapan, tahap pelaksanaan penelitian, dan tahap analisis penelitian. Berikut tahapan tersebut :

### 1. Tahap Persiapan

Tahap persiapan terdiri dari pengambilan sampel limbah, uji karakteristik awal sampel limbah, uji coba alat.

Sampel limbah cair industri tekstil diambil dari *outlet* pipa pembuangan yang merupakan *inlet* bagi aplikasi pengolahan di PT Apac Inti Corpora dengan

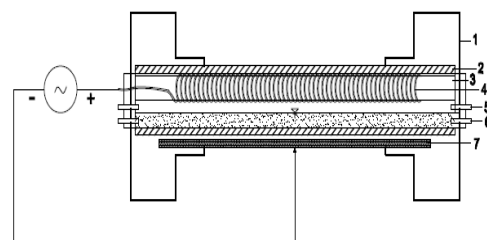
menggunakan metode *grab sampling*, yaitu pengambilan sampel pada saat waktu dan tempat tertentu.

Analisis karakteristik sampel limbah dilakukan terlebih dahulu sebagai gambaran awal kondisi limbah yang akan diolah. Baku mutu mengacu pada Peraturan Daerah Jawa Tengah No. 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah. Parameter yang diuji adalah COD dan warna.

Uji coba alat dimaksudkan untuk mengetahui apakah alat dapat berjalan dengan baik, sesuai dengan prinsip-prinsip kerja dalam literatur. Cara uji coba dengan menjalankan alat pada posisi *running*, lalu limbah dialirkan kedalam reaktor melalui inlet air limbah dan gas oksigen dimasukkan kedalam reaktor melalui inlet udara. Yang perlu diperhatikan dalam uji coba antara lain:

- a. Pembacaan tegangan saat muncul lucutan plasma
- b. Pendeteksian ozon berupa munculnya bau ozon. Hasil reaksi antara plasma dengan oksigen menghasilkan ozon.
- c. Aliran oksigen yang keluar dari pompa konstan

Tegangan awal munculnya lucutan dalam reaktor plasma.



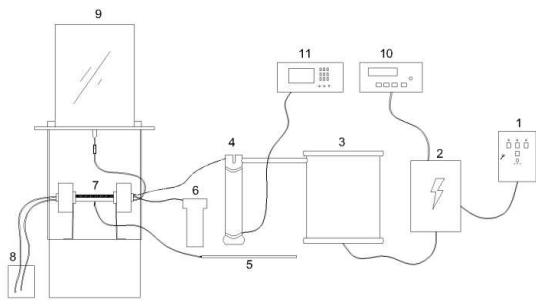
**Gambar 1. Reaktor Plasma**

Keterangan : 1. Teflon, 2. Pyrex, 3. Teflon, 4. Kawat elektroda, 5. Inlet Udara, 6. Inlet Air limbah, 7. Lempengan *Stainlesssteel*.

## 2. Tahap Pelaksanaan

Limbah diberikan perlakuan aerasi sebelum diolah dengan teknologi plasma. Tujuannya untuk mengoksidasi polutan dalam limbah, sehingga dapat meringankan beban pengolahan pada reaktor plasma. Aerasi dilakukan menggunakan gas oksigen murni dengan *flowrate* sebesar 0,5 l/menit selama 5 menit.

Proses pengolahan limbah dengan menggunakan teknologi plasma dilakukan di Laboratorium Konversi Energi dan Sistem Tenaga Teknik Elektro Universitas Diponegoro. Rangkain alat disusun sebelum dilakukan proses pengolahan, rangkain alat digambarkan oleh skema dibawah ini :



**Gambar 2.** Skema Rangkaian Alat

Keterangan : 1. Sumber tegangan AC, 2. Regulator, 3. Trafo *step up*, 4. Kapasitor, 5. Ground (lempengan tembaga), 6. Tabung oksigen, 7. Reaktor plasma, 8. Wadah penampung air hasil pengolahan, 9. Wadah penampung air sebelum pengolahan, 10. *Operating terminal*, 11. *Digital measurement instrument*.

Limbah hasil aerasi ditempatkan pada wadah limbah influen yang nantinya dialirkan kedalam reaktor plasma secara gravitasi dengan menggunakan selang. Regulator, trafo *step up*, kapasitor, dan *ground* merupakan komponen dari pembangkit tegangan listrik yang memiliki kapasitas 0-100 kV, dalam penelitian ini

tegangan yang digunakan yaitu sebesar 9, 11, dan 13 kV. Tegangan diatur melalui *operating terminal* dimana angka besarnya tegangan akan muncul pada digital instrument. Tabung gas berisi oksigen murni yang merupakan sumber gas yang akan dimasukkan kedalam reaktor plasma dengan *flowrate* 0,5 l/menit. Sirkulasi selama 7 kali dilakukan pada setiap masing-masing tegangan yang diberikan.

Pengukuran COD dan warna dari sampel limbah yang sudah diolah dengan menggunakan reaktor plasma dilakukan di laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro.

## 3. Tahap Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan menganalisis data yang telah diperoleh dari hasil penelitian yaitu penurunan konsentrasi COD dan warna dengan menggunakan *software Microsoft excel*. Analisis data akan meliputi analisis dengan diagram untuk hubungan antara penurunan konsentrasi COD maupun warna dengan tegangan dan banyaknya sirkulasi. Penyajian data juga dilakukan dalam grafik untuk menunjukkan penurunan dan penyisihan konsentrasi COD dan warna. .

Sedangkan untuk mengetahui hubungan antara variabel bebas (tegangan dan banyaknya sirkulasi) dengan variabel terikat (parameter COD dan warna), dilakukan analisis data menggunakan *software SPSS 16.0* dengan melakukan uji normalitas, uji koleraso, uji regresi, dan uji beda nyata.

## C. Hasil dan Pembahasan

### C1. Analisis Karakteristik Awal Sampel Limbah Tekstil

Berdasarkan uji karakteristik awal didapatkan data hasil yang tertera pada tabel 4.1 :

**Tabel 1.** Data Hasil Uji Karakteristik Awal Sampel Limbah

| No | Parameter | Satuan | Hasil Analisa | Baku Mutu (*) |
|----|-----------|--------|---------------|---------------|
| 1  | COD       | mg/L   | 3333          | 150           |
| 2  | Warna     | PtCo   | 2898          | -             |

\* Peraturan Daerah Jawa Tengah No.5 tahun 2012

Berdasarkan tabel 4.1 diatas dapat dilihat bahwa konsentrasi COD melebihi baku sehingga perlu adanya proses pengolahan. Untuk mengurangi beban pencemaran maka limbah awal diberikan aerasi, hasil dari aerasi disajikan pada tabel 4.2 :

**Tabel 2.** Data hasil limbah setelah aerasi

| Tegangan | Parameter | Satuan | Hasil Analisa  |                |
|----------|-----------|--------|----------------|----------------|
|          |           |        | Sebelum Aerasi | Sesudah Aerasi |
| 9        | COD       | mg/l   | 3083           | 2875           |
|          | Warna     | PtCo   | 2727           | 2557           |
| 11       | COD       | mg/l   | 3042           | 2708           |
|          | Warna     | PtCo   | 2693           | 2465           |
| 13       | COD       | mg/l   | 3000           | 2500           |
|          | Warna     | PtCo   | 2614           | 2330           |

Hasil limbah setelah dilakukan aerasi pada tabel 4.2 menunjukkan bahwa aerasi memberikan pengaruh pada penurunan parameter COD dan warna. Prosentase penurunan pada tegangan 9 untuk parameter COD sebesar 7% sedangkan untuk parameter warna sebesar 5%.

## C2. Hasil Pengolahan Sampel Limbah

**Tabel 3.** Data Hasil Pengolahan

| Tegangan | Sirkulasi | COD  | Warna |
|----------|-----------|------|-------|
| 9 kV     | 1         | 2875 | 2557  |
|          | 2         | 2750 | 2443  |
|          | 3         | 2625 | 2273  |
|          | 4         | 2458 | 2102  |
|          | 5         | 2375 | 1875  |
|          | 6         | 2292 | 1705  |
|          | 7         | 2167 | 1591  |

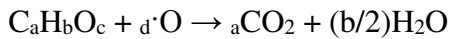
| Tegangan | Sirkulasi | COD  | Warna |
|----------|-----------|------|-------|
| 11 kV    | 1         | 2708 | 2465  |
|          | 2         | 2542 | 2330  |
|          | 3         | 2375 | 2102  |
|          | 4         | 2125 | 1875  |
|          | 5         | 1917 | 1648  |
|          | 6         | 1708 | 1420  |
|          | 7         | 1583 | 1250  |
| Tegangan | Sirkulasi | COD  | Warna |
| 13 kV    | 1         | 2500 | 2330  |
|          | 2         | 2250 | 2159  |
|          | 3         | 1917 | 1875  |
|          | 4         | 1708 | 1591  |
|          | 5         | 1458 | 1307  |
|          | 6         | 1292 | 1080  |
|          | 7         | 1042 | 852   |

Hasil pengolahan diatas menunjukkan bahwa semua parameter pada setiap perlakuan limbah menghasilkan penurunan nilai parameter. Pengolahan maksimum terjadi pada tegangan 13 kV dan sirkulasi ke-7. Konsentrasi COD setelah pengolahan memiliki nilai sebesar 1042 mg/l dengan efisiensi penyisihan sebesar 65,28%, sedangkan konsentrasi warna setelah pengolahan memiliki nilai sebesar 852 PtCo dengan efisiensi penyisihan sebesar 67,39%.

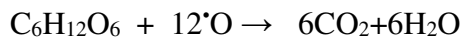
## C3. Pengaruh Variasi Tegangan Terhadap Penurunan Parameter

Tegangan yang semakin besar menyebabkan meningkatnya kuat arus yang akan membuat terbentuknya elektron semakin banyak. Hal ini menyebabkan meningkatnya spesies aktif seperti  $\cdot\text{O}$ ,  $\cdot\text{OH}$ , dan  $\text{O}_3$  yang berperan penting dalam mendegradasi limbah, maka penyisihan zat organik dalam limbah semakin efektif [5]. Penurunan konsentrasi COD terjadi karena adanya reaksi antara spesies aktif dengan senyawa organik menjadi molekul air.

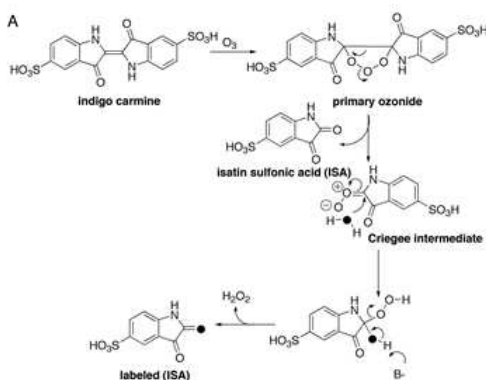
Sebagian besar spesies aktif yang terbentuk merupakan oksidator kuat. Berikut ini merupakan persamaan stokiometri yang menunjukkan reaksi oksidasi senyawa organik oleh atom oksigen [1]:



Senyawa organik yang terkandung dalam limbah ini adalah zat amilum yang berasal dari proses desizing terlihat pada tabel 2.1. Zat amilum yang larut ke dalam air akan berubah menjadi glukosa dengan rumus kimia  $C_{12}H_{22}O_6$ . Glukosa yang terkandung dalam limbah tekstil menyebabkan kandungan COD meningkat. Pada pengolahan dengan teknologi plasma glukosa akan teroksidasi oleh atom oksigen  $\cdot O$  yang terbentuk dari disosiasi atom oksigen. Reaksi stoikiometri glukosa dengan atom oksigen tertera pada persamaan dibawah ini :

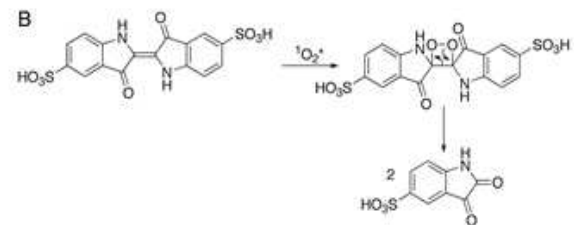


Sedangkan penurunan warna terjadi karena adanya reaksi spesies aktif yaitu ozon dengan zat warna, dimana zat warna yang digunakan oleh PT Apac Inti Corpora yaitu zat warna *indigo carmine* atau yang biasa dikenal dengan *indigo blue*. Berikut adalah reaksi zat warna dengan spesies aktif ozon [3]:



**Gambar 3.** Reaksi zat warna indigo dengan ozon

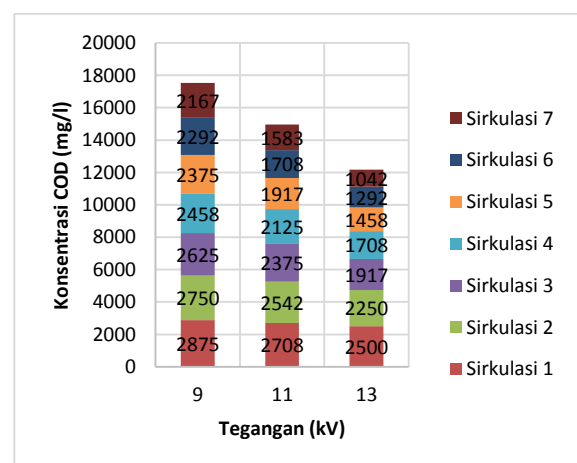
Selain ozon, zat warna juga mudah bereaksi dengan oksigen akibat adanya energi dari tumbukan partikel. Adapun reaksinya adalah [3] :



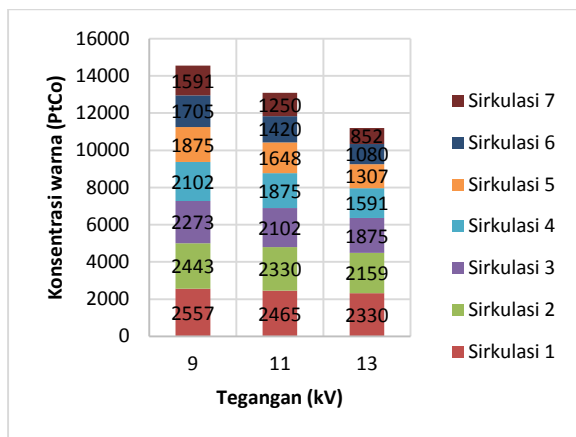
**Gambar 4.** Reaksi zat warna indigo dengan oksigen

Oleh karena itu terjadilah penurunan dan penyisihan efisiensi warna yang terjadi setelah limbah diolah dengan teknologi plasma, karena limbah tekstil yang mengandung zat warna indigo carmine tersebut diuraikan menjadi senyawa yang lebih sederhana.

Penurunan nilai konsentrasi COD dan warna pada setiap tegangan memiliki nilai berbeda-beda. Pengaruh hubungan variasi tegangan terhadap konsentrasi COD dan warna dapat dilihat pada gambar 5 dan gambar 6 :

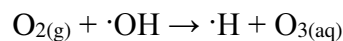
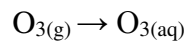
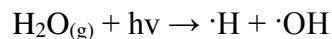
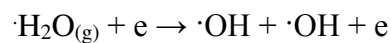
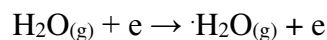
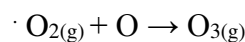
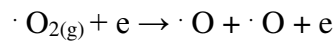
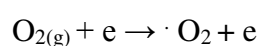


**Gambar 5.** Pengaruh Tegangan Terhadap Konsentrasi COD

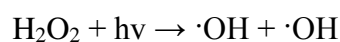
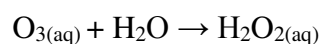


**Gambar 6.** Pengaruh Tegangan Terhadap Konsentrasi warna

Berdasarkan gambar 5 dan gambar 6 yang disajikan, grafik emakin menurun seiring dengan peningkatan tegangan yang diberikan. Konsentrasi COD paling rendah terjadi pada tegangan 13 kV yaitu 1042 mg/l dengan efisiensi penyisihan sebesar 65%, pada tegangan 9 kV dan 11 kV konsentrasi COD secara berturut-turut yaitu sebesar 2167 mg/l dan 1583 mg/l dengan efisiensi penyisihan 30% dan 48%. Sedangkan untuk konsentrasi warna sebesar 1591 mg/l dimana efisiensi penyisihan sebesar 42%, saat tegangan 11 konsentrasi warna menjadi 1250 mg/l dengan efisiensi penyisihan sebesar 54%, kemudian ditegangan 13 nilai konsentrasi warna sebesar 852 mg/l yang memiliki efisiensi penyisihan sebesar 67%. Penjelasan dari fenomena ini adalah semakin besar tegangan yang diberikan maka semakin banyaknya spesies aktif yang terbentuk karena semakin besar tegangan yang diberikan membesar kemungkinan tumbukan antara elektron dengan partikel bermuatan, dimana besarnya tumbukan yang terjadi menyebabkan semakin banyak spesies aktif yang terbentuk. Proses tumbukan yang terjadi sebagai berikut [8] :



Liquid

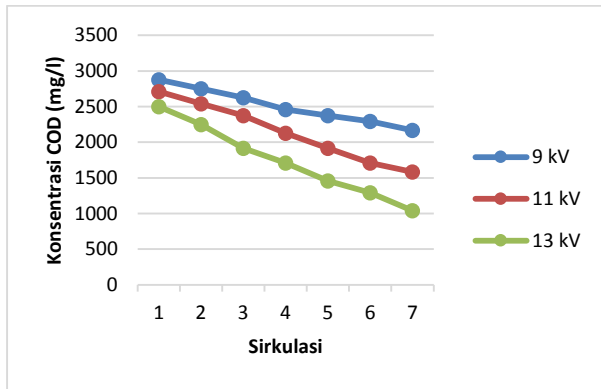


#### C4. Pengaruh Variasi Sirkulasi Terhadap Penurunan Parameter

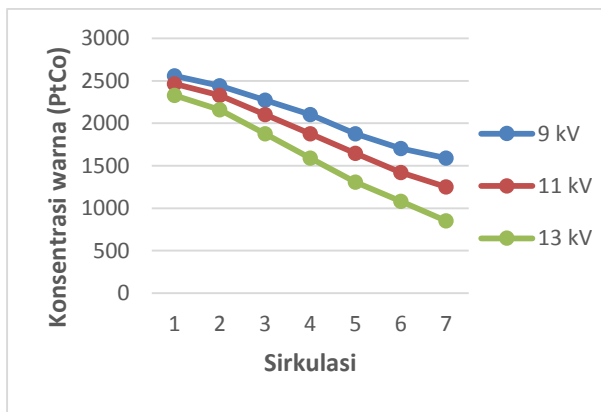
Penggunaan sirkulasi pada penelitian ini dimaksudkan untuk memperpanjang waktu kontak sampel limbah dengan reaktor plasma. Hal ini sejalan dengan penelitian yang menunjukkan semakin banyak sirkulasi, maka semakin besar prosentase penurunan kadar limbah cair industri tekstil, yang menunjukkan bahwa semakin banyak zat organik yang terdegradasi. Sirkulasi perlu dilakukan beberapa kali untuk mengoptimalkan proses degradasi limbah. Hal ini dikarenakan waktu hidup OH yang sangat pendek [6], Sedangkan ozon lambat bereaksi tetapi memiliki waktu hidup yang lebih lama yaitu 20-30 menit.

Dengan memperbanyak sirkulasi maka semakin lama kontak limbah dengan plasma, semakin lama kontak limbah dengan plasma menyebabkan ozon dan spesies aktif yang terlarut akan semakin banyak, dengan semakin banyaknya ozon dan spesies aktif yang terlarut maka akan semakin banyak zat organik dan zat warna yang terdegradasi. Sirkulasi memberi pengaruh pada banyaknya kemungkinan kontak antara sampel limbah dengan spesies aktif yang dihasilkan plasma.

Penurunan konsentrasi COD dan warna dapat dilihat pada gambar 7 dan 8.



**Gambar 7.** Pengaruh Sirkulasi Terhadap konsentrasi COD



**Gambar 8.** Pengaruh Sirkulasi Terhadap konsentrasi warna

Berdasarkan gambar 7 dan 8 di atas menunjukkan hubungan antara banyaknya sirkulasi dengan penurunan konsentrasi COD dan warna. Pola grafik cenderung curam mengindikasikan bahwa sirkulasi berpengaruh kuat terhadap penurunan konsentrasi COD dan warna. Pada sampel limbah cair yang mendapat perlakuan sirkulasi antara 1-7 kali, Penurunan konsentrasi COD dan warna semakin menurun seiring dengan banyaknya sirkulasi yang dilakukan.

Penurunan konsentrasi COD dan warna maksimum terjadi pada tegangan 13, yaitu pada konsentrasi COD sirkulasi ke 1 mempunyai efisiensi penyisihan sebesar 17%, sirkulasi ke 2 sebesar 25%, sirkulasi

ke 3 sebesar 36%, sirkulasi ke 4 sebesar 43%, sirkulasi ke 5 sebesar 51%, sirkulasi ke 6 sebesar 57%, dan sirkulasi ke 7 sebesar 65%, sedangkan nilai efisiensi penyisihan parameter warna sirkulasi 1 sebesar 11%, sirkulasi ke 2 sebesar 17%, sirkulasi ke 3 sebesar 28% , sirkulasi ke 4 sebesar 39, sirkulasi ke 5 sebesar 50%, sirkulasi ke 6 sebesar 59%, dan sirkulasi ke 7 sebesar 67%.

## D. KESIMPULAN DAN SARAN

### D1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan :

1. Hasil analisa menjelaskan bahwa variasi tegangan memberikan pengaruh terhadap penurunan konsentrasi COD dan warna.
2. Hasil analisa menjelaskan bahwa variasi banyaknya sirkulasi memberikan pengaruh terhadap penurunan konsentrasi COD dan warna.

### D2. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan sumber *high voltage* dengan frekuensi yang sangat tinggi untuk mendapatkan penyisihan konsentrasi parameter COD dan warna yang lebih baik dan maksimal pada limbah industri tekstil.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan melakukan waktu kontak yang lebih panjang untuk mendapatkan hasil sesuai dengan baku mutu.

## D. Daftar Pustaka

- [1]Eckenfelder, W. Wesley. 2000. *Industrial Water Pollution Control*.

New York : McGraw Hills Companies.

- [2] Hadiwibowo, Wisnu. 2003. Studi Penggunaan Carbon Aktif sebagai Adsorben Zat Warna Acrylamides pada Limbah Industri Tekstil. Laporan Tugas Akhir Teknik Lingkungan. Semarang : Universitas Diponegoro.
- [3] Lerner, Richard A. And Albert Eschenmoser, 2003. Department of Chemistry, The Scripps Research Institute, La Jolla, CA 92037.
- [4]PT. Sucofindo (Persero). 1999. *Penyusunan Database Dampak Lingkungan dari Kegiatan Industri*. Bandung : Lembaga Pengabdian Kepada Masyarakat Institut Teknologi Bandung
- [5]Riandini, Yoel Migei. 2006. *Penggunaan Teknologi Plasma (Electrical Discharge) pada permukaan Aor dengan Sistem Non-contact Electrode untuk menurunkan warna,, pH, TSS, COD dalam Limbah Cair Pencelupan Industri Tekstil..* Laporan Tugas Akhir Teknik Lingkungan. Semarang : Universitas Diponegoro
- [6] Sugiarto, Anto Tri, 2002. *Atasi Polusi dengan Plasma*. Tangerang : Pusat Penelitian KIM-LIPI.
- [7] Sugiarto, Anto Tri, 2005. *Investigasi Spark Discharge dalam Air Dengan Metode Spektroskopik*. Jurnal Instrumentasi, Tangerang : Pusat Penelitian KIM-LIPI.
- [8] Wang, Zhanhua, dkk. 2008. *Plasma decoloration of dye using dielectric barrier discharges with earthed spraying water electrodes*.

Departement of Environmental Science and Engineering, Northeast Normal University. China